

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2000294793 A

(43) Date of publication of application: 20.10.00

(51) Int. Cl. H01L 29/786
H01L 21/336
H01L 21/20

(21) Application number: 11099905

(22) Date of filing: 07.04.99

(71) Applicant: YAMAZOE HIROSHI

(72) Inventor: YAMAZOE HIROSHI

(54) MANUFACTURE OF THIN-FILM TRANSISTOR

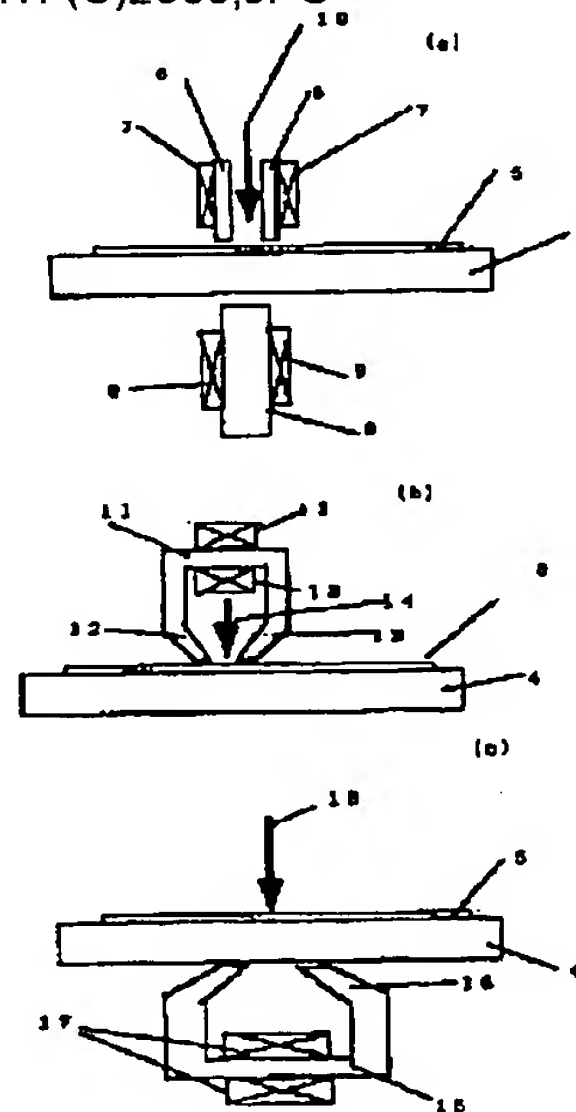
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the local nonuniformity of implantation density and the activation of implanted species in the case of ion implantation by forming a silicon film with a flat surface on a substrate, and obtaining a crystalline silicon film by melting and crystallizing the silicon film, inhibiting the convection movement of silicon atoms.

SOLUTION: A silicon film 5 with a flat surface is formed onto a substrate 4. Oxygen ions are implanted in depth of approximately 100 nm or more from the surface layer of the silicon film 5, keeping the substrate 4 at a fixed temperature of 500-600°C. The substrate 4 is thermally treated at a temperature of approximately 600°C or higher for approximately 100 hr or more. The silicon film 5 is melted and crystallized by applying laser beams, and a crystalline silicon film is obtained. Thus, the nonuniformity of the status of implantation is prevented by the extreme nonuniformity of the silicon thin-film, and easy segregation or the like

in an irregular section of implantation species or the like at an interstitial position in the case of activation by heat of the implantation species can be improved.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-294793

(P 2 0 0 0 - 2 9 4 7 9 3 A)

(43) 公開日 平成12年10月20日 (2000. 10. 20)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード (参考)
H01L 29/786		H01L 29/78	G 5F052
21/336		21/20	5F110
21/20			

審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全14頁)

(21) 出願番号 特願平11-99905

(22) 出願日 平成11年4月7日 (1999. 4. 7)

(71) 出願人 598144801

山添 博司

大阪府交野市寺2丁目7番13号

(72) 発明者 山添 博司

大阪府交野市寺2丁目7番13号

Fターム(参考) 5F052 AA02 BB01 BB07 DA02 DB03

DB07 FA00 JA01 JA10

5F110 AA08 AA18 CC02 DD02 EE03

EE43 FF01 FF02 FF03 FF28

FF29 FF30 FF32 GG02 GG13

GG14 GG24 GG25 GG32 GG33

GG43 GG44 GG45 GG52 HJ01

HJ13 HL03 HL22 NN02 NN24

NN35 PP03 PP04 PP35

(54) 【発明の名称】 薄膜トランジスタの製法

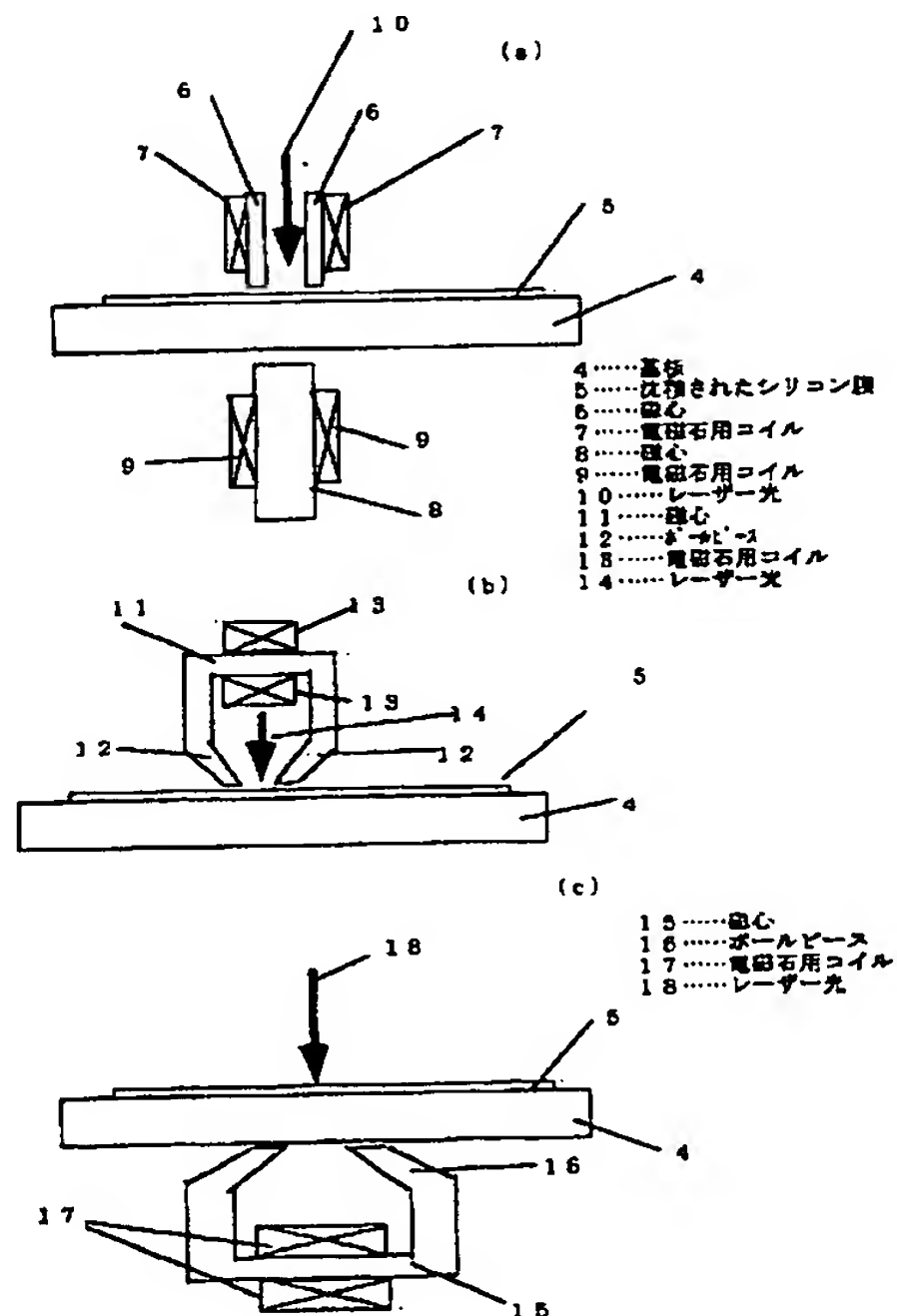
(57) 【要約】

【発明の名称】 薄膜トランジスタの製法。

【課題】 結晶質シリコン膜表面の凹凸が大であり、これがTFT特性の不均一性に至る。また、ドーピング濃度の不均一性も課題である。

【解決手段】 構成 (+効果)

熔融-結晶化の際、静磁場を印加する。また、ドーピングを中性子照射による核変換により行う。また、多結晶シリコン膜の下部に酸化珪素相を存在せしめる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上、平坦な表面を有するシリコン膜を形成し、つぎにシリコン原子の対流移動を抑制しつつ、熔融-結晶化させて結晶質シリコン膜を得ることを特徴とする薄膜トランジスターの製法。

【請求項 2】 基板上、平坦な表面を有するシリコン膜を形成し、つぎにゲート絶縁膜を形成し、さらにシリコン原子の対流移動を抑制しつつ、熔融-結晶化させて結晶質シリコン膜を得ることを特徴とする薄膜トランジスターの製法。

【請求項 3】 シリコン膜の熔融を、レーザー照射によりなされることを特徴とする請求項 1、2 に記載の薄膜トランジスターの製法。

【請求項 4】 レーザーが、エキシマーレーザーであることを特徴とする請求項 3 に記載の薄膜トランジスターの製法。

【請求項 5】 レーザーが、アルゴンレーザーであることを特徴とする請求項 3 に記載の薄膜トランジスターの製法。

【請求項 6】 磁場を印加して、熔融-結晶化時、シリコン原子の対流移動を抑制することを特徴とする請求項 1、2 に記載の薄膜トランジスターの製法。

【請求項 7】 高圧力不活性ガスを吹き付けて、熔融-結晶化時、シリコン原子の対流移動を抑制することを特徴とする請求項 1、2 に記載の薄膜トランジスターの製法。

【請求項 8】 結晶質シリコンおよびこれに接してゲート絶縁膜形成後、瞬間的に、結晶質シリコンを約 1000℃以上、約 1400℃以下に加熱することを特徴とする薄膜トランジスターの製法。

【請求項 9】 結晶質シリコンの加熱を、レーザー照射によりなされることを特徴とする請求項 8 に記載の薄膜トランジスターの製法。

【請求項 10】 レーザーが、エキシマーレーザーであることを特徴とする請求項 9 に記載の薄膜トランジスターの製法。

【請求項 11】 レーザーが、アルゴンレーザーであることを特徴とする請求項 9 に記載の薄膜トランジスターの製法。

【請求項 12】 結晶質シリコンの加熱を、高周波加熱によりなされることを特徴とする請求項 8 に記載の薄膜トランジスターの製法。

【請求項 13】 結晶質シリコンのチャネル部に、中性子を照射、薄膜トランジスターの閾値制御を行うことを特徴とする薄膜トランジスターの製法。

【請求項 14】 中性子照射後、600℃以上で、真空または不活性雰囲気中で、熱処理することを特徴とする請求項 13 に記載の薄膜トランジスターの製法。

【請求項 15】 基板上、平坦な表面を有するシリコン膜を形成し、つぎにこのシリコン膜の表層から約 100

nm以上の深さに酸素イオンをイオン注入し、つぎにこのシリコン膜を熔融-結晶化させて結晶質シリコン膜を得る過程を含むことを特徴とする薄膜トランジスターの製法。

【請求項 16】 基板上、平坦な表面を有するシリコン膜を形成し、つぎにこの基板を 500℃ から 600℃ の間の一定温度に保ちつつ、酸素イオンをこのシリコン膜の表層から約 100 nm以上の深さにイオン注入し、つぎにこの基板を約 600℃ 以上の温度で、約 10 時間以上熱処理し、つぎにレーザー光を照射してシリコン膜を熔融-結晶化させて結晶質シリコン膜を得る過程を含むことを特徴とする薄膜トランジスターの製法。

【請求項 17】 基板が硼珪酸系ガラスであることを特徴とする請求項 15、16 に記載の薄膜トランジスターの製法。

【請求項 18】 レーザーが、エキシマーレーザーであることを特徴とする請求項 16 に記載の薄膜トランジスターの製法。

【請求項 19】 レーザーが、アルゴンレーザーであることを特徴とする請求項 16 に記載の薄膜トランジスターの製法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、電界効果型トランジスター (FET) 機能を有する薄膜トランジスター (TFET) の基礎技術に関する。さらには、本発明は、約 650℃以下の最高プロセス温度で形成される多結晶シリコンTFETに関する。約 650℃という温度は、市販の硼珪酸ガラスが耐え得る最高温度である。特に、多結晶シリコンの表面平坦性の向上、ゲート絶縁層内部、およびゲート絶縁層-多結晶シリコン界面の安定化処理、さらにチャネル部の均一ドーピング法、とチャネル部のキャリアのフェルミレベルの再現性の確保に関するものであり、閾値の再現性に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来の技術については、「Digest of Technical Papers; AM-LCD 98」に詳しい。また、TFETの周知の製法についても、述べられている。

【0003】 TFETの重要要素たる多結晶シリコンは、基板上、例えば非晶質シリコンを形成後、結晶化がなされることによる。結晶化した多結晶シリコンの表面平坦化のためには、1996年頃、レーザー照射の際、非晶質シリコン上、2酸化シリコン等によるキャップを形成し、熔融・結晶化される。それ以後、大きな技術進歩は無い。

【0004】 なお、この場合も、すなわち、レーザー照射により瞬時の急速熔融および瞬時の固化、結晶化を多結晶シリコンで得ることを包含するTFETプロセスにおいても、定常プロセスの最高温度は約 650℃に抑える

ことが出来る。実際には、瞬時、熔融シリコンが基板に接触している故に、すなわち瞬時には、約1400℃以上の温度が基板にかかる。

【0005】基板は通常、耐熱性硼珪酸ガラスが使われ、瞬時の例えば、1400℃の熱には耐える。定常的に耐える温度としては、ガラス基板を、一般的な、コーニング社製、#1737にした場合、約650℃が限界である。この意味で、定常プロセスの最高温度は約650℃に限るのは、意味が大きい。ゲート絶縁層内部、およびゲート絶縁層-多結晶シリコン界面の安定化処理は特になされていない。逆スタagger型の場合、非晶質シリコンのレーザー照射により瞬時の急速熔融の際、プロセスの副プロセスとして、多かれ少なかれ、熱処理によりなされていると思われる。

【0006】また、イオン注入により、ドーピングがなされる。相補的MOSの形成のためには、閾値が、約1.5V内外で、正確に揃える必要がある。(すべて、インハンスメントモードでTFETは動く。)

【0007】このようなプロセスを経て形成された薄膜トランジスタにおいては、常に、初期特性でのTFETの電気的特性の均一性と、その特性の信頼性が問題となる。前記電気的特性の均一性は、おもに、ドレイン電流-ゲート電圧特性でのドレイン電流の立ち上がりに対応するゲート電圧、すなわち、ゲート閾値に注目して評価される。信頼性は、この閾値の経時変化に注目して評価される。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】まず、TFETを構成するは平坦である必要がある。多結晶シリコンの表面の凹凸の程度は、電子や正孔等、キャリアの移動度に大きく影響すること、またこの多結晶シリコンへのイオン注入の際、チャネル効果等により、不均一に注入される等の致命的欠陥を有する。イオン注入による均一ドーピングが、多結晶シリコン膜の凹凸のため等により、達成し難く、従って、FETの閾値のバラツキ大となる傾向にある。

【0009】この様子を[図1]に、構成断面図で示す。同図において、1は基板、2は最初に沈積されたシリコン膜、3はたとえば、塩化キセノンのエキシマレーザーで走査され、熔融・再結晶化された結晶質シリコン膜である。

【0010】同図において、通常の技術において、例えば化学蒸着法(CVD法)等による沈積されたシリコン膜の表面の粗度は、厚みを約0.05μmとした場合、0.001μm程度である。熔融・再結晶化された結晶質シリコン膜の凹凸は、谷と山で、約0.05μmに及ぶ。すなわち、膜厚程度の凹凸が生じる。この因って来るところは、瞬時の熔融の際の、シリコン原子の激しい対流運動であると理解される。すなわち、シリコン原子の対流運動による移動が大きく、凹凸に結びつく。これ

は、シリコン単結晶インゴットのチョクラスキー法による結晶成長の場合の、観察からの帰結である。

【0011】また、以下の観察も上の議論の裏付けとなる。すなわち、沈積されたシリコン膜を、シリコンの融点以下、約800℃以上に、数時間〜約100時間、熱処理することにより、徐々に結晶化させた場合、得られた結晶質シリコン膜の表面の平坦さは保存される。これは、高価な、石英板を基板とする必要がある。

【0012】この熔融・再結晶化された結晶質シリコン膜の表面平坦性の向上のため、1995年頃、検討された方法は、レーザー照射による熔融・再結晶化の際、シリコン膜を2酸化シリコン膜や、窒化シリコン膜等のキャップ膜で、カバーして行うことである。結果は、レーザー光の照射パワーを下げないと、前記キャップ膜が割れるという致命的困難が起こる。また、レーザーパワーを下げると、十分熔融・再結晶化が起こらないという問題が派生する。前記キャップ膜の割れは、熔融状態のシリコン原子の激しい対流に起因すると考えらる。

【0013】特に、スタagger型TFET(トップゲートTFET)の場合、MOS特性のキャリアが走行するチャネル部が凹凸に富む故に、大いなる問題となる。もちろん、逆スタagger型TFET(アンダーゲートTFET)においても、イオン注入の不均一性等、問題が多い。

【0014】この問題については、従来法では明瞭な切り口が存在しないと考えられている。

【0015】また、集積回路(IC)技術においては、単結晶シリコンを水蒸気を含む雰囲気中で、約1100℃以上に加温、熱酸化することにより、ゲート絶縁層は得られる。この温度処理により、電気的レベルの少ない、緻密なゲート絶縁層と、レベルの少ない、安定な、ゲート絶縁層-多結晶シリコン界面を得られていると思われる。

【0016】ところが、本発明にかかる形成温度が比較的低温である多結晶シリコンを使ったTFETの場合、ゲート絶縁層内部、およびゲート絶縁層-多結晶シリコン界面の安定化処理は特になされていない。特に、スタagger型TFETの場合、そうである。逆スタagger型の場合、非晶質シリコンのレーザー照射により瞬時の急速熔融の際、プロセスの副プロセスとして、多かれ少なかれ、熱処理によりなされていると思われる。しかし、この逆スタaggerの場合、最適化はなされていないのが現状である。これは、TFETの信頼性に影響を及ぼす。

【0017】また、TFETの閾値の制御等、TFETのチャネル部に制御されたイオン注入がなされる。半導体部が多結晶シリコンであり、結晶粒界の存在により、チャネル効果等で、均一な注入がなかなか難しい。また、注入種の活性化度合いも、結晶粒界に影響され、局所的な濃淡をもったドーピングとなる。また、本発明に係るTFET技術の場合、活性化のための熱処理温度を十分上げることが出来ない。従って、活性化率は、50%程

度でばらつく。これは、活性化されていない不純物原子の存在を意味し、これはキャリアの散乱を起こし、それだけキャリアの移動度が劣化する。TFTのノーマリー状態において、電力消費を抑制した相補的MOSの形成のためには、閾値が、約1.5V内外で、正確に揃える必要がある。とくに、これで信号処理回路の構築を意図する場合、とくにそうである。

【0018】溶融・再結晶化の過程は瞬時である。例えば、エキシマーレーザーによる場合、パルス幅は、10nsから50ns程度である。すなわち、熱平衡過程からはほど遠いプロセスである。従って、細部い亘って、このプロセスの制御の再現性は確保しにくいものである。例えば、パルス幅内の照射パワーの時間的変化の制御、また照射パワーのピーク値の制御等、再現性に問題があるのは公知である。従って、溶融・再結晶化された結晶質シリコン膜のキャリアのバンド構造の再現性には限度がある。例えば、結晶欠陥等、常に同一の状況に再現することは困難である。従って、キャリアのフェルミレベル等の再現性が難しく、このものをチャネルとした場合、閾値にバラツキが生じる。

【0019】従来、TFTの初期特性の均一性は、不十分であった。このTFT群で、回路を構成しようとする場合、前記閾値のばらつきは、まずは±0.1V以下が必要であるが、現状、±0.5V以上である。また、信頼性は、たとえばBTS法(Bias Temperature Stress法)により、閾値電圧の移動で評価される。具体的条件は、たとえば、ゲートとソース、ゲートとドレイン間に、約10V、100℃、30分印加するものである。このあとの閾値の移動量で信頼性を評価する。この信頼性も不十分である。必要特性は閾値変動にして、0.1V以下が必要であるが、現状では、0.5V程度以上ある。

【0020】要請される前記閾値ばらつきの上限、±0.1Vは、たとえば、CMOS(相補的MOS)の形成に由来する。

【0021】特に、スタagger型(=トップゲート)構造TFTの場合、基板からの多結晶シリコン層への不純物の拡散の進行が、前記信頼性の悪化の一因であることが、高感度SIMS(2次イオン質量分析器)等の結果から推測される(応用物理学会データー)。

【0022】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明は、基板上、平坦な表面を有するシリコン膜を形成し、つぎにシリコン原子の対流移動を抑制しつつ、溶融-結晶化させて結晶質シリコン膜を得るような薄膜トランジスターの製法を提供する。

【0023】さらに本発明は、基板上、平坦な表面を有するシリコン膜を形成し、つぎにゲート絶縁膜を形成し、さらにシリコン原子の対流移動を抑制しつつ、溶融-結晶化させて結晶質シリコン膜を得るような薄膜ト

ンジスターの製法を提示する。

【0024】また、前記シリコン膜の溶融を、レーザー照射によりなされるのが望ましい。また、シリコン膜のエネルギーの吸収の関係から見ると、レーザーが、エキシマーレーザーであるのが望ましい。とくに、約300nm近傍の発振波長のものが望ましい。また、溶融・固化されたシリコン膜の凹凸を緩和するためには、連続発振の大出力レーザーが望ましく、この点で、アルゴンレーザーを使用するのが望ましい。

【0025】本発明は、溶融-結晶化時のシリコン原子の対流移動を抑制するためには、シリコン原子の反磁性を利用して、磁場を印加するような薄膜トランジスターの製法を提案する。シリコン膜の溶融部において磁束密度は、約2000ガウス以上が望ましい。

【0026】本発明は、対流を抑制するもう一つの手段として、溶融-結晶化時、高圧力不活性ガスを吹き付けることを提案する。

【0027】さらに本発明はゲート絶縁膜およびこれと結晶質シリコンの界面の安定化のために、ゲート絶縁膜形成後、瞬間的に、結晶質シリコンを約1000℃以上、約1400℃以下に加熱するような薄膜トランジスターの製法を明かにする。この際、結晶質シリコンの加熱をレーザー照射によりなされるのが、簡便である。好ましいレーザーとしては、前述の議論の同様に、エキシマーレーザーないしアルゴンレーザーが挙げられる。もう一つの望ましい方法は、結晶質シリコンを高周波加熱することである。

【0028】また本発明は、結晶質シリコンのチャネル部に、TFTの閾値制御のために、n型不純物を均一に、しかも、ほとんど100%の活性率でもって、かつ、活性化のための熱処理無しに導入するのに、中性子線を照射するような薄膜トランジスターの製法を提供する。中性子は熱中性子が望ましい。さらに、この後、シリコン膜の放射線損傷の回復と、酸素不純物欠陥(通常、酸素原子は約、 10^{18} 原子/cm²以上、含まれている)の悪影響を防止するために、中性子照射後、600℃以上で、真空または不活性雰囲気中で結晶質シリコンを熱処理するのが、ほとんど必須である。

【0029】さらに、前記課題を解決するために、基板上、平坦な表面を有するシリコン膜を形成し、つぎにこのシリコン膜の表層から約100nm以上の深さに酸素イオンをイオン注入し、つぎにこのシリコン膜を溶融-結晶化させて結晶質シリコン膜を得る過程を含むような薄膜トランジスターの製法を明かにする。

【0030】より、具体的には、基板上、平坦な表面を有するシリコン膜を形成し、つぎにこの基板を500℃から600℃の間の一定温度に保ちつつ、酸素イオンをこのシリコン膜の表層から約100nm以上の深さにイオン注入し、つぎにこの基板を約600℃以上の温度で、約10時間以上熱処理し、つぎにレーザー光を照

射してシリコン膜を熔融-結晶化させて結晶質シリコン膜を得る過程を含むような手法を提示する。

【0031】この際、基板としては、コストから見て、硼珪酸系ガラスが望ましい。また、レーザーとしては、エキシマーレーザーまたは、アルゴンレーザーが望ましい。

【0032】

【発明の実施の形態】本発明について、以下より具体的に説明する。

【0033】基板上、急激な熔融-結晶化された結晶質シリコン膜の自由面（基板側と逆側の空気に接した面）の凹凸は、前述の議論とうり、熔融した際のシリコン原子の対流による急激な移動に起因する。従って、考察により、より平滑な自由面を得るために、熔融シリコン内のシリコン原子の移動を抑制することを提案するものである。

【0034】かくすることにより、イオン注入の際の注入密度や、注入種の活性化の局所的な不均一性を改善することが出来る。すなわち、シリコン膜厚の極端な不均一性により、注入の状況が不均一になる。また、注入種の熱による活性化の際、インタースチッシャルな位置にある注入種等は、凹凸部に偏析しやすい。

【0035】またエレクトロン等、キャリアの移動度は、これが走るチャネル部の凹凸性により劣化することは公知である。また、これにゲート絶縁膜が形成されたTFTの動作時には、電界が凸部尖り部や凹部の凹みに集中し、劣化の原因となる。本発明はこれらを改善するものである。

【0036】これは、また、シリコン単結晶の引き上げ法の経験から考えて、基板からの酸素原子の結晶質シリコン膜への拡散を抑制できるという副次的利点がある。

【0037】また、スタagger型、すなわち、トップゲート型の場合について、優れた手法を明らかにする。基板上、シリコン膜を化学蒸着法（CVD法）、またはプラズマアシスティッド化学蒸着法（プラズマCVD法）、またはスパッター法により形成する。このときの、シリコン膜は、非晶質または微結晶質シリコン膜であり、表面は非常に平滑である。シリコン膜の厚みを約50nmの場合、凹凸は段差計で図ると、0.5nm以下である。つぎに、約100nmの厚みのゲート絶縁膜に対応する膜を全面、形成する。例えば、このゲート絶縁膜は、2酸化シリコン膜や、5酸化タンタル膜、酸化アルミニウム膜、窒化シリコン膜等が使われる。形成手法は、CVD法、プラズマCVD法、スパッター法等が使われる。テトラエトキシシランのプラズマCVD法による膜が優れていた。

【0038】このあと、シリコン膜を瞬時、加熱-冷却させ、すなわち熔融-結晶化させて、結晶質シリコンを得る。この熔融の瞬間において、シリコン原子の対流移

動を抑制する手法を講じて行うのが、本発明の主張するところである。

【0039】これについては、前述の議論が成立する。かつ、シリコン膜の熔融の際の瞬時の高温にゲート絶縁膜や、ゲート絶縁膜-シリコン膜界面が晒される。したがって、ゲート絶縁膜や界面等の不完全性に起因する電子のエネルギー準位が、あるていど、削減される。特に、まだ存在する微量の酸素原子に起因する欠陥を消滅させる。しかも、1000℃以上の温度から450℃以下に急冷される。従って、極微量の酸素原子によるドナーレベルの発生の暇を与えない。

【0040】従来、この種の検討が行われたが、例えば、レーザー等による十分な急加熱、急冷により、ゲート絶縁膜が破壊された。これは、急加熱によるシリコン膜の熔融により、シリコン原子の移動が激しく、膜を損傷するものと考えた。本発明はこれに鑑み、なされたもので、本発明の実施においては、この種不都合を生起しなかった。

【0041】このようなシリコン膜の熔融は、レーザー照射によりなされるのが、基板に熱的負荷を軽減する意味で、望ましいものであった。また、このようなレーザーとしては、シリコン膜にのみ、エネルギー吸収を行わせる意味で、すなわち、コーニング社製、#1737等の吸収を軽度にする意味で、短波長可視光レーザーないし紫外線レーザーが望ましい。この点で、エキシマーレーザーやアルゴンレーザーが望ましい。

【0042】より具体的には、シリコン膜の熔融の瞬間において、シリコン原子の対流移動を抑制するには、この熔融部に、熔融の間、磁場を印加することである。望ましくは静磁場であり、磁束としては、シリコン膜に平行成分のあるのが望ましい。また磁場強度は、実験上では約2500ガウス以上が望ましい。

【0043】これで、対流が抑制されるのは、シリコン原子の反磁性によると理解している。

【0044】また、熔融-結晶化された結晶質シリコン膜（膜厚約50nm）の平坦度は、磁場強度を十分大きくした場合、凹凸にして約3nm以下のすることが出来た。これは、従来に比べ、大幅に改善されている。

【0045】また、高感度2次イオン質量分析（高感度SIMS）によれば、不純物酸素の含有量は、この磁場印加をなさない場合に比較して、一桁以上少なくなっていた。この酸素は、多分、基板から来ていると思われる。基板をコーニング社製、#1737ガラスを使用した場合、酸素以外に、極微の硼素や、バリウム等、基板材料からの拡散と思われる不純物も、一桁以上、少なくなっていた。

【0046】この手法は、シリコン膜上、ゲート絶縁膜を形成し、そのあと、熔融-結晶化する場合にも、顕著な効果を発揮する。

【0047】より、具体的に説明する。

【0048】シリコン膜の熔融-結晶化の際、静磁場を印加、熔融した際のシリコン原子の対流による急激な移動を抑制する手法について説明する。[図2]に、3種の方式(a)、(b)、(c)を、構成断面図で示す。同図において、4は基板、5は沈積されたシリコン膜、6は磁心、7は電磁石用コイル、8は磁心、9は電磁石用コイル、10はレーザー光、11は磁心、12はポールピース、13は電磁石用コイル、14はレーザー光、15は磁心、16は電磁石用コイル、17はレーザー光である。

【0049】コーニング社製、硼珪酸ガラス、#1737上、スパッター装置で、約500nmの厚みの2酸化シリコン膜で被覆し、基板4とした。これに、約50nmの非晶質シリコン膜を、基板温度約320℃とし、プラズマCVD法で形成した。このCVD条件は、含有水素量を約0.5%以下にするものである。磁心6、11、15をの軟鉄のブロックから、またはパイプから形成した。これらにコイル7、13、16を巻き、電磁石とした。また、磁束の集中と方向制御のため、一部の検討では、軟鉄からなるポールピース12を同図のように設けた。

【0050】基板上、急激な された結晶質シリコン膜の自由面(基板側と逆側の空気に接した面)の凹凸は、前述の議論とうり、熔融した際のシリコン原子の対流による急激な移動に起因する。従って、考察により、より平滑な自由面を得るために、熔融シリコン内のシリコン原子の移動を抑制することを提案するものである。

【0051】かくすることにより、イオン注入の際の注入密度や、注入種の活性化の局所的な不均一性を改善することが出来る。すなわち、シリコン膜厚の極端な不均一性により、注入の状況が不均一になる。また、注入種の熱による活性化の際、インタースチッシャルな位置にある注入種等は、凹凸部に偏析しやすい。

【0052】またエレクトロン等、キャリアの移動度は、これが走るチャネル部の凹凸性により劣化することは公知である。また、これにゲート絶縁膜が形成されたTFTの動作時においては、電界が凸部尖り部や凹部の凹みに集中し、劣化の原因となる。本発明はこれらを改善するものである。

【0053】これは、また、シリコン単結晶の引き上げ法の経験から考えて、基板からの酸素原子の結晶質シリコン膜への拡散を抑制できるという副次的利点がある。

【0054】また、スタッガー型、すなわち、トップゲート型の場合について、優れた手法を明らかにする。基板上、シリコン膜を化学蒸着法(CVD法)、またはプラズマアシスティッド化学蒸着法(プラズマCVD法)、またはスパッター法により形成する。このときの、シリコン膜は、非晶質または微結晶質シリコン膜であり、表面は非常に平滑である。シリコン膜の厚みを約50nmの場合、凹凸は段差計で図ると、0.5nm以

下である。つぎに、約100nmの厚みのゲート絶縁膜に対応する膜を全面、形成する。例えば、このゲート絶縁膜は、2酸化シリコン膜や、5酸化タンタル膜、酸化アルミニウム膜、窒化シリコン膜等が使われる。形成手法は、CVD法、プラズマCVD法、スパッター法等が使われる。テトラエトキシシランのプラズマCVD法による膜が優れていた。

【0055】このあと、シリコン膜を瞬時、加熱-冷却させ、すなわち熔融-結晶化させて、結晶質シリコンを得る。この熔融の瞬間において、シリコン原子の対流移動を抑制する手法を講じて行うのが、本発明の主張するところである。

【0056】これについては、前述の議論が成立する。かつ、シリコン膜の熔融の際の瞬時の高温にゲート絶縁膜や、ゲート絶縁膜-シリコン膜界面が晒される。したがって、ゲート絶縁膜や界面等の不完全性に起因する電子のエネルギー準位が、あるていど、削減される。特に、まだ存在する微量の酸素原子に起因する欠陥を消滅させる。しかも、1000℃以上の温度から450℃以下に急冷される。従って、極微量の酸素原子によるドナーレベルの発生の暇を与えない。

【0057】従来、この種の検討が行われたが、例えば、レーザー等による十分な急加熱、急冷により、ゲート絶縁膜が破壊された。これは、急加熱によるシリコン膜の熔融により、シリコン原子の移動が激しく、膜を損傷するものと考えた。本発明はこれに鑑み、なされたもので、本発明の実施においては、この種不都合を生起しなかった。

【0058】このようなシリコン膜の熔融は、レーザー照射によりなされるのが、基板に熱的負荷を軽減する意味で、望ましいものであった。また、このようなレーザーとしては、シリコン膜にのみ、エネルギー吸収を行わせる意味で、すなわち、コーニング社製、#1737等の吸収を軽度にする意味で、短波長可視光レーザーないし紫外線レーザーが望ましい。この点で、エキシマーレーザーやアルゴンレーザーが望ましい。

【0059】より具体的には、シリコン膜の熔融の瞬間において、シリコン原子の対流移動を抑制するには、この熔融部に、熔融の間、磁場を印加することである。望ましくは静磁場であり、磁束としては、シリコン膜に平行成分のあるのが望ましい。また磁場強度は、実験上では約2500ガウス以上が望ましい。

【0060】これで、対流が抑制されるのは、シリコン原子の反磁性によると理解している。

【0061】また、熔融-結晶化された結晶質シリコン膜(膜厚約50nm)の平坦度は、磁場強度を十分大きくした場合、凹凸にして約3nm以下のすることが出来た。これは、従来に比べ、大幅に改善されている。

【0062】また、高感度2次イオン質量分析(高感度SIMS)によれば、不純物酸素の含有量は、この磁場

印加をなさない場合に比較して、一桁以上少なくなっていた。この酸素は、多分、基板から来ていると思われる。基板をコーニング社製、# 1737 ガラスを使用した場合、酸素以外に、極微の硼素や、バリウム等、基板材料からの拡散と思われる不純物も、一桁以上、少なくなっていた。

【0063】この手法は、シリコン膜上、ゲート絶縁膜を形成し、そのあと、熔融-結晶化する場合にも、顕著な効果を発揮する。

【0064】（実施例1）より具体的に説明する。

【図2】、（a）、（b）、（c）は本発明を説明するための構成断面図である。

【0065】コーニング社から、低アルカリの硼珪酸ガラス、# 1737 を入手した。これに、日本真空製、高周波スパッター装置、SPF-312 を用いたスパッター法で、約600 nm の2酸化シリコン層を全面に形成し、基板4とした。これに、約60 nm の非晶質シリコン膜を形成した。これは、通常、CVD法、プラズマCVD法等で形成されるが、ここではサムコインターナショナル研究所製、PD-2400 を用いたプラズマCVD法で、ただし基板温度を約330℃として沈積させた。この条件では、沈積されたシリコン膜中の水素量は僅少である。また、沈積されたシリコン膜の表面平坦度としては、走査型電子顕微鏡観察で、約20 nm 以下のものが容易に得られる。このシリコン膜を周知の方法で島状に微細加工した。

【0066】磁束を発生させるための電磁石は、磁心6、8、11、15すなわち軟鉄製のブロックまたは中空管状物に、コイルを巻き付け、形成した。磁束を集中させるため、場合により、磁心に、軟鉄製ポールピース12、16を設けた。

【0067】レーザー光照射時、静磁場のかけ方、すなわち磁束の状況について、3種の磁場印加法（a）、（b）、（c）を検討した。

【0068】（図2）（a）においては、基板上下の電磁石は、同じ極極が対向するように、すなわち、N極とN極、またはS極とS極が対向する場合と、異なった極性の磁極、すなわち、N極とS極が対向するようにした場合を検討した。ガラス近傍の磁束密度は、ホール素子での模擬的評価の結果、局部的には約4000 Gauss以上にした。簡単なシミュレーションの結果、同極性の磁極が対向する場合、基板近傍の磁力線は、基板に平行な成分と、垂直な成分があり、異極性の磁極が対向する場合、基板近傍において、基板に垂直な成分が主となる。

（図2）（b）においては、基板近傍に基板に平行な磁束を集中させることを狙ったものである。このために、軟鉄製のポールピース12を設けた。磁束密度は、約3500 Gaussであった。また、（図2）（c）においても、（b）と同様の効果を有した。ただし、基板裏側に電磁石を設けた故に、レーザー光の照射のための器具と

の配置において、（c）は（b）よりも、簡略になるという長所がある。

【0069】なお、本発明は、シリコン膜の熔融-固化結晶化時に、熔融-固化結晶化部位に、数1000 Gauss以上の静磁場が存在することが本質であって、例えば、約40 cm角程度の小面積基板の場合、ある程度経済的に、通常の電磁石、又は超伝導コイルによる電磁石により、磁場を与えることも出来る。勿論、この場合、レーザー光の照射の都合上、シリコン膜面に平行な磁力線となる。本発明はこれらも含むものである。

【0070】レーザーとしては、塩化クロライド・エキシマーレーザー、ラムダフィジクス社製、EMG-203MSGを基本としたものであった。波長は約300 nmであった。この波長では、シリコン膜の吸収は、表層約50 nm近くに限られる。レーザーの1ショットあたり、220 mJ/cm²の条件で、約40ショット照射した。パルス幅は約35 ns秒であった。雰囲気は、約10⁻³ torrのアルゴン雰囲気であった。このとき、この条件で、シリコン膜が熔融するのは、別の実験で確認した。

【0071】本発明は、まず、レーザーを照射するシリコン膜の部位に、磁束密度を約、3500 Gauss～4000 Gaussになるように、コイルに電流を流し、静磁場を局所的に印加する。つぎに、前述の条件で、エキシマーレーザー光をこの部位に照射する。さらに照射中、および、照射後、約5 μ秒静磁場を保つ。シリコン膜の反射光の測定から、レーザー照射の終了後、約1～2 μ秒で固化、結晶化する。

【0072】なお、従来法のレーザー光による、熔融-結晶化のプロセスは、レーザー光の照射のみである。すなわち、本発明はこれを組み合わせたところに本質がある。

【0073】得られた結晶質シリコン膜の表層の平滑性は、原子間力顕微鏡での観察によれば、約3 nm以下であった。特に、（図2）（b）（c）の配置の場合、平滑性は約1 nm以下である。（図2）（a）において、基板上下の磁極を逆磁極にするよりも、同一磁極にした方が、平滑性が良かった。これらのことは、磁力線が基板に平行な方が望ましい結果を与えることを示唆している。さらには、シリコン原子の電子軌道の反磁性の故に、シリコン原子が磁力線に拘束されることを暗示しているようだ。

【0074】このあと、周知の方法すなわち、テトラエトキシシラン（TEOS）-オゾン系のプラズマCVDでゲート絶縁膜を形成する。さらに周知の方法で、スタagger型（トップゲート型）TFETを形成した。

【0075】TFETチャネル部のキャリアの移動度は、従来に比べ、約40%向上した。特に、（図2）（b）（c）に対応するTFETでは、移動度は約70%向上した。これは、結晶質シリコン膜の平滑性と平行関係にあ

10

20

30

40

50

る。

【0076】高感度2次イオン質量分析（高感度SIMS）による、結晶質シリコン膜の分析によれば、膜中の酸素濃度は、従来に比べ、約2桁低かった。従来、通常、結晶シリコン中の酸素は、多くの場合、ドナーとして働き、外部からのドーピングの制御を擾乱させるが、本発明はある程度これを回避するものである。

【0077】（実施例2）[図3]、(a)、(b)、(c)は本発明を説明するための構成断面図である。同図において、19は基板、20は沈積されたシリコン膜、21はキャップ膜（ゲート絶縁膜となるもの）、22は磁心、23は電磁石用コイル、24は磁心、25は電磁石用コイル、26はレーザー光、27は磁心、28はポールピース、29は電磁石用コイル、30はレーザー光、31は磁心、32はポールピース、33は電磁石用コイル、34はレーザー光である。

【0078】実施例1と同様に、非晶質シリコン膜を形成した。次に、テトラエトキシシラン（TEOS）-オゾン系のプラズマCVD法でゲート絶縁膜となる2酸化シリコン膜、かつこの場合、キャップ膜ともなる2酸化シリコン膜を形成する。使用装置は、(株)サムコインターナショナル研究所製、液体ソースCVD装置、PD-240であった。膜厚、約100nmとした。

【0079】これに、実施例1と同様に、同様のパワーのレーザーを照射しつつ、照射部に同時に約3000の静磁場を印加した。この様子を模式的に、(図3)

(a)～(c)に示す。

【0080】勿論、この場合、上の2酸化シリコン膜は、勿論、この程度のレーザー照射で熔融の証拠は無い（融点は不明瞭ではあるが、実際上の軟化の温度はシリコンより若干低い。しかし、レーザー光の吸収が軽微のため、ここまで加熱されない。）従来、このようなレーザー光の条件では、中のシリコンが熔融し、この際のシリコン原子の激しい移動により、上のゲート絶縁膜たる膜が破壊される。ところが、本発明においては、全く、破壊が見られない。すなわち、シリコン原子の激しい移動が抑制されたと思われる。磁束に基板平行成分のある方が望ましかった。

【0081】また、ゲート絶縁膜およびこれとシリコン膜との界面は、約1400℃程度の熱処理を受ける。これは、界面等の準位等、ゲート絶縁膜中の準位等を消去する効果を有する。この1400℃が、約1000℃以上であることに大なる意味がある。すなわち、1000℃以下の熱処理においては、約 $10^{-18}/\text{cm}^3$ 程度ある酸素原子がドナー化するのを防ぐ。

【0082】また、シリコン膜の熔融の瞬間において、シリコン原子の対流移動を抑制するもう一つの方法は、この熔融部に、熔融の間、高圧不活性ガスを吹き付けることである。不活性ガスとしては、高純度アルゴンガスそのまま、または高純度水素ガスを含む高純度アルゴン

ガスを使用することが望ましい。圧力は、約2気圧以上が望ましい（背景雰囲気は、1気圧以下である）。

【0083】また、シリコン膜の熔融の瞬間において、シリコン原子の対流移動を抑制するには、この熔融部に、熔融の間、高圧不活性ガスを吹き付けることである。不活性ガスとしては、高純度アルゴンガスそのまま、または高純度水素ガスを含む高純度アルゴンガスを使用することが望ましい。圧力は、約2気圧以上が望ましい（背景雰囲気は、1気圧か、以下である）。

10 【0084】（実施例3）シリコン膜の熔融-固化結晶化の際、シリコン原子の対流による移動を抑制する方法を説明するための[図4]は構成断面図である。同図において、35は基板、36はシリコン膜、37は高圧気体導入パイプ、38は高圧気体、39はレーザー光である。

【0085】非晶質シリコン膜の作成は、（実施例1）と同様に作成された。この非晶質シリコン膜の雰囲気を、1気圧のアルゴンになるよう置換する。つぎに、（実施例1）の如く、レーザー光を照射、熔融-結晶化させる。レーザーは、日本電気製、アルゴンレーザー、GLG-3202を基本としたものであった。時間的に、レーザー照射の直前から、レーザー照射終了後数m秒まで、高圧アルゴンガス（約4気圧）を、細孔から、照射部に向けて、噴出させ続ける。

【0086】結果、結晶化シリコン膜の表面凹凸性は、約5nm以下にすることが出来た。

【0087】つぎに、熔融-結晶化した結晶質シリコンの上にゲート絶縁膜を形成後、シリコン-絶縁膜の界面および絶縁膜のキャリアトラップ等、不純なエネルギー準位の原因となる欠陥を減少させるために、瞬時に結晶質シリコンを約1000℃以上、約1400℃以下に加熱するのが、移動度の向上と、移動度の再現性、さらに移動度の信頼性、またTF特性の閾値の再現性の確保の、決定的効果を有する。概略の評価によれば、この加熱は、結晶質シリコンが約、1000℃以上、約1400℃以下が望ましい。1400℃以上にすると、結晶質シリコンが再熔融し、プロセスの制御にかなり注意が必要となる（例えば、凹凸等）。

【0088】多分、これの効果の裏付けは以下のようなと思われる。分析によれば、約 $10^{-16} \sim 10^{-17}/\text{cm}^3$ 程度、結晶質シリコンに入っている酸素が、1000℃以上では固溶し、ドナー等にはならず、無害化される。ところが、これ以下の温度の熱処理においては、やらないよりは特性が改善されるものの、酸素原子が微小欠陥として析出したり、またドナー的振る舞いをするようになる。これは、キャリアの移動度を抑制し、また閾値を変動させる。

【0089】この加熱は局部加熱が有利であり、この点レーザーや、高周波加熱が望ましい。レーザーとしては、シリコン膜の吸収の点から、エキシマーレーザー

や、アルゴンレーザーが望ましく、高周波熱は約 100 KHz 強のマイクロ波が望ましいものであった。

【0090】熔融-結晶化した結晶質シリコンの上にゲート絶縁膜を形成後、シリコン-絶縁膜の界面および絶縁膜のキャリアトラップ等、不純なエネルギー準位の原因となる欠陥を減少させるために、瞬時に結晶質シリコンを約 1000℃以上、約 1400℃以下に加熱するのが、移動度の向上と、移動度の再現性、さらに移動度の信頼性、また TFT 特性の閾値の再現性の確保の、決定的効果を有する。概略の評価によれば、この加熱は、結晶質シリコンが約、1000℃以上、約 1400℃以下が望ましい。1400℃以上にすると、結晶質シリコンが再溶解し、プロセスの制御にかなり注意が必要となる（例えば、凹凸等）。

【0091】多分、これの効果の裏付けは以下のようなと思われる。分析によれば、約 $10^{-16} \sim 10^{-17} / \text{cm}^3$ 程度、結晶質シリコンに入っている酸素が、1000℃以上では固溶し、ドナー等にはならず、無害化される。ところが、これ以下の温度の熱処理においては、やらないよりは特性が改善されるものの、酸素原子が微小欠陥として析出したり、またドナー的振る舞いをするようになる。これは、キャリアの移動度を抑制し、また閾値を変動させる。

【0092】この加熱は局部加熱が有利であり、この点レーザーや、高周波加熱が望ましい。レーザーとしては、シリコン膜の吸収の点から、エキシマーレーザーや、アルゴンレーザーが望ましく、高周波熱は約 100 KHz 強のマイクロ波が望ましいものであった。

【0093】（実施例 4）本発明、すなわち結晶質シリコンおよびこれに接してゲート絶縁膜形成後、この界面およびゲート絶縁膜内部の不都合な電子エネルギー準位の低減を目指し、瞬間的に、結晶質シリコンを約 1000℃以上、約 1400℃以下に加熱することに関し、これを説明するための構成断面図が〔図 5〕である。同図において、40 は基板、41 は結晶質シリコン膜、42 はゲート絶縁膜用キャップ膜、43 はレーザー光である。

【0094】まず、実施例 1～3 の如く、表面が平滑な結晶質シリコンを得る。必要とあれば、これにゲート絶縁膜を沈積、加工して、（図 5）のような、構成物を得る。この結晶質シリコンを約 1000℃以上、約 1400℃以下に加熱する。

【0095】約 1400℃以下の熱処理に限定したのは、結晶質シリコンの再溶解による不都合を避けるためである。シリコンは、ほぼ、1400℃強で溶解する。実験的には、熔融-不溶解の境目の温度を、約 1400℃程度として、エネルギー印加条件（レーザーおよび高周波加熱の）を決めたのが実状である。約 1000℃は、計算から、推測した。

【0096】ほんとに約 1000℃、以上の熱処理が安

定させるのか。検討によれば、周知の方法で、電極形成および、n+またはp+のソース、ドレイン領域を形成されてなる TFT において、いわゆる BT（バイアス温度 ストレス）法による信頼性評価によると、1000℃以下の熱処理の場合に比較、約 2 倍以上、変化率が抑えられた。何故については、よく分からないが、 10^{-18} は存在する不純物酸素原子が、1000℃以上では固溶し、しかも、不都合な電子のエネルギー準位を形成しないと推測している。文献等では、900℃程度の熱処理では、酸素に由来する、ドナー準位を発生させるようである。

【0097】（実施例 1～3）による結晶質シリコン膜は平坦であり、これに起因すると思われるが、この約 1000℃の熱処理によるゲート絶縁膜用キャップ膜の割れ、クラックは全く起こらない。（実施例 1～3）によらない、従来法による結晶質シリコン膜に関しては、しばしば、この約 1000℃の熱処理のあと、ゲート絶縁膜用キャップ膜にクラックが観測される。

【0098】瞬時の約 1000℃以上、約 1400℃以下に加熱においては、前述のようなエキシマーレーザーやアルゴンレーザーが使われる。

【0099】また、約 110 KHz の断続的高周波加熱で、約 1000℃以上、約 1400℃以下に加熱がなされた。これについては、対応する図は掲載しなかった。装置は縦形エピタキシー装置、国際電気製、DC5200 を使用した。結果は、前述と同様、好ましいものであった。

【0100】また、予測されるように、多結晶シリコンの均一ドーピングはなかなか難しい。この事態を改善するために、結晶質シリコンのチャンネル部に、熱中性子を照射、薄膜トランジスターの閾値制御を行うことを提案する。これは、原子核変換により、ドナーとなるリン原子を均一にドーピングするものである。承知されるとおり、熱中性子は、荷電粒子と相互作用すること無く、従って透過力が強い。すなわち、結晶粒界や、シリコン膜厚には関係無く、均一に、結晶を透過、一部の熱中性子は、シリコン原子核に捕らえられる。

【0101】具体的には、シリコンの質量数 30 の同位元素、 ^{30}Si が熱中性子を吸収し、リン原子、 ^{31}P に β 崩壊することを利用する。この半減期は、2.62 時間であり、 ^{30}Si は通常のシリコンに 3.09% 含まれており、また ^{31}P は通常のリン原子である。これは、もともと結晶格子にあるシリコン原子を格子位置のリンに変換するものであることに注目する必要がある。すなわち、通常のドーピングのように、はじめ、多くの不純物原子は結晶格子間位置（インタースティシャル位置）に入り、熱処理により格子位置におさまるのは、大いに異なる。

【0102】熱中性子の照射は、原子炉または、医療用にも使われるサイクロトロン、または中性子輻射装置で

なされる。本実施例では、医療用サイクロトロンでなされた。照射時間は、約 5 時間必要とし、結果濃度として、約 3×10^{13} 程度であった。これは、予め、別の検討で、抵抗率の温度依存性、移動度の温度依存性から評価されたものである。この検討を通じて、均一なドーピングがなされているのが理解された。

【0103】なお、基板にも勿論、熱中性子が照射されるが、基板をコーニング社製、# 1737 とする場合、残留放射能に関する大きな問題はなかった。

【0104】また、この中性子の照射後、多結晶シリコン膜とキャップ膜（ゲート絶縁膜になる場合）の放射線損傷の回復のため、熱処理するのが望ましい。特に、存在する酸素がドナー的振る舞いを抑制するために、600℃以上で、真空または不活性雰囲気中での熱処理が望ましい。

【0105】（実施例 5）つぎに本発明に関する、中性子照射ドーピング法を説明するための【図 6】は構成断面図である。同図において、44 は基板、45 は結晶質シリコン膜、46 はキャップ膜、47 は中性子線、48 は中性子発生装置、49 は中性子線透過用窓である。なお、本検討では、中性子発生装置 48 として、医療用サイクロトロンを使った。同図において、中性子発生装置 48 は、模式的に示されている。

【0106】照射時間は、約 5 時間必要とし、つぎに、約 800℃に約 2 分、ランプアニール法により熱処理した。雰囲気は、真空雰囲気で行った。結果濃度として、約 3×10^{13} 程度であった。これは、予め、別の検討で、抵抗率の温度依存性、移動度の温度依存性から評価されたものである。この検討を通じて、抵抗率の測定等から、従来より均一なドーピングがなされているのが理解された。また、結果した TFT 特性の信頼性評価も優れたものであった（BT ストレス法による）。

【0107】中性子照射時に想定される多結晶シリコン膜、キャップ膜（ゲート膜となる場合）の放射線損傷の回復のため、約 600℃以上の熱処理が望ましい。約 600℃～650℃の場合、長時間の熱処理が必要である。600℃以下の熱処理の場合、活性化率は大幅に劣化し、しかもこれの再現性が著しく悪くなる。これは、抵抗値測定から、理解された。これは、TFT 特性のバラツキに大きく関係する。

【0108】残留放射能については、ディテクターで測定したところ、安全基準のはるか以下であった。この検討においては、基板として、高純度石英基板を用い、キャップ膜は 2 酸化シリコン膜を用いた。酸素原子に対しては、残留放射能は問題が無いことは、予測されることである。

【0109】さらに、本発明について、以下より具体的に説明する。以降、トップゲート型の TFT について、話を進めるが、ボトムゲート型の TFT についての、細かい違いはあるものの、本質は変わらない。従って、ト

ップゲート型 TFT についてのみ、詳述する。さらに、制御さるべき、キャリアとしては、電子、または正孔の 2 種があるが、本質的には変わらないので、ここでは、キャリアとして電子、すなわち、N チャネルの TFT について、以下に議論する。

【0110】該 TFT の初期特性の均一性は、一つの要因は、以下のように、考えた。すなわち、TFT の作成工程において、加熱プロセスが数多くある。このとき、TFT を構成する半導体膜、すなわち、結晶質シリコン膜に、基板側から、微量（ほとんど、分析不可能な量）の拡散が起こり、ゲート絶縁膜—結晶質シリコン膜界面近傍のキャリアのエネルギー準位の状況をばらつかせる。

【0111】また、TFT の信頼性、特に、前記閾値の変化も、一つの要因は、電圧と温度により、結晶質シリコン膜に、基板側から、微量（ほとんど、分析不可能な量）の拡散が起こることに、発すると考えた。

【0112】この発明は、TFT を構成する多結晶シリコン層の断面が結果として異なるので、まず、従来法を再度、吟味する。

【0113】【図 7】に、従来の、TFT の製作手法例を示す。（図 7）において、50 は基板、51 は脱水素処理された非晶質シリコン、52 はレーザー光、53 は熔融・結晶化して得られる結晶質シリコン膜、54 はゲート絶縁膜、55 はゲート金属電極膜、56 はソース金属電極膜とドレイン金属電極膜、57 はパッシベーション膜である。

【0114】簡単に、従来の工程を示す。まず、非晶質シリコン膜を周知のプラズマ化学蒸着法（プラズマ CVD 法）で形成する。そのあと、約 350℃で約 1 時間、真空雰囲気中で熱処理して、脱水素処理を行う（同図（a））。つぎに、キセノンのエキシマーレーザーを照射し、前記脱水素処理された非晶質シリコン 51 を熔融・固化させて、再結晶化された結晶質シリコン膜 53 を得る（同図（b））。さらに、ゲート金属電極直下と想定される結晶質シリコンの部分に、リンの薄いイオン注入を行い（チャンネルドーピング）、また、ソース及びドレイン金属電極直下と想定される結晶質シリコンの部分に、リンの濃いイオン注入を行う（n+ドーピング）。さらに、注入種の活性化のための熱処理を窒素気流中、約 600℃で約 30 分行う。つぎに、2 酸化珪素等からなるゲート絶縁膜 54 を得る。手法は、周知の如く、シランと酸素あるいはこれに水蒸気の混合ガスからの減圧化学蒸着法（LPCVD）か、テトラエトキシシランとオゾンの混合ガスからのプラズマ CVD 法等による。この膜厚は、0.1 μm～0.01 μm である（同図

（c））。つぎに、アルミニウム等による、ゲート金属電極膜 55 を、周知の電子ビーム蒸着法とフォトリソグラフィ法と化学蝕刻法でもって、形成する（同図（d））。前記ゲート絶縁膜 54 のソース電極部および

ドレイン電極部に対応する部分を、周知の化学蝕刻法で孔あけし、この孔部分に、周知の電子ビーム蒸着法とフォトリソグラフィ法と化学蝕刻法でもって、ソース金属電極膜およびドレイン金属電極膜7を形成する（同図（e））。つぎに、全体に、プラズマCVD法により、パッシベーション膜（同図（f））として窒化シリコン膜を形成する。

【0115】基板としては、耐熱性硼珪酸ガラスや、熔融石英板が使われる。熔融石英板は非常に高価である。現実には、8インチ径基板以上は、生産に供するのは、
10 絶望的である。従って、場合によっては、耐熱性硼珪酸ガラス、たとえば、コーニング社製、#1737ガラスが、もっともよく使われる。ところが、これの一般的製法に由来して、0.1%程度のアルカリ元素を耐熱性硼珪酸ガラスは含まれている。この耐熱性硼珪酸ガラス中のアルカリ元素やそのほかの不純物が、TFT製造時に結晶質シリコン膜中に拡散してくると考えられる。この現象は、加熱により促進されると思われる。これが、TFT製造初期の前記閾値をばらつかせる要因と考えられる。現実には、このばらつきは、従来、約0.5V以上で
20 あった。目標は、0.1V以下である。

【0116】また、信頼性の加速評価、すなわち、BTS法下での閾値の大きな変動も、これに由来すると考えられる。

【0117】（実施例6）[図8]は本発明にかかる手法を説明するための構成断面図である。同図において、58は基板、59は非晶質シリコン膜、60は加速された酸素イオン流、61は酸素原子密度の極少の非晶質シリコン膜、62は酸素原子密度の大なる非晶質シリコン膜、63はレーザー光、64は熔融結晶化した結晶質シリコン膜、65は電子線回折評価で酸化シリコンと同定される膜、66はゲート絶縁膜、67はゲート金属電極膜、68はソース金属電極膜とドレイン金属電極膜、69はパッシベーション膜である。

【0118】（図8）を使って、本発明を説明する。

【0119】まず、コーニング・ジャパン社より1.1mm厚の耐熱性硼珪酸ガラス、#1737を入手した。この上に、（株）サムコインターナショナル研究所製、プラズマCVD装置、PD-2400を使い、プラズマCVD法で、約250nm厚の非晶質シリコン膜を形成
40 した。つぎに、周知のフォトリソグラフィ法及び、フッ酸-硝酸-酢酸混液による湿式エッチで島状にパターニングする。つぎに、真空中、約400℃で約1時間熱処理して、前記非晶質シリコン膜から水素を脱離させた（同図（a））。

【0120】つぎに、住友イートンノバ製、NV-GSD-A-160を用い、約120KeV相当のエネルギーで、ドーズ量、約 $1.5 \times 10^{18} / \text{cm}^2$ とし、約20分、酸素イオンを注入した。基板温度は約400℃にした。別の実験によれば、シリコン中の酸素
50

イオン密度のピークは、深さ約150nmにあり、このピークの酸素密度は約 $4 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ であった（同図（b））。このあと、約600℃、約5時間、熱処理した。

【0121】つぎに、レーザー光を照射した。レーザーとしては、塩化クロライド・エキシマーレーザー、ラムダフィジクス社製、EMG-203MSGを基本としたものであった。波長は約300nmであった。この波長では、シリコン膜の吸収は、表層約50nm近くに限られる。レーザーの1ショットあたり、 $220 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ の条件で、約40ショット照射した。パルス幅は約35ns秒であった。雰囲気は、約 10^{-3} torr のアルゴン雰囲気であった。このとき、この条件で、酸素原子密度の極小の非晶質シリコン膜が瞬時に熔融・固化するのは、別の実験で確認した（同図（c））。レーザー処理されたシリコン膜の走査型電子顕微鏡による断面観察によれば、熔融・固化して得た結晶質シリコン膜の表面の平坦性は従来に比較して、一桁近く向上していた。これは、本発明にかかる一つの長所である。また、結晶質シリコン膜とその下部の2酸化珪素相の存在は、電子線回折により、確認された。

【0122】つぎに、従来と同様に、ゲート金属電極直下と想定される結晶質シリコンの部分に、リンの薄いイオン注入を行い（チャネルドープ）、また、ソース及びドレイン金属電極直下と想定される結晶質シリコンの部分に、リンの濃いイオン注入を行う（n+ドープ）。さらに、注入種の活性化のための熱処理を窒素気流中、約600℃で約30分行う。さらに、シラン-酸素系ガスを用いた、LPCVD炉（東京エレクトロン製、型式1W-6）で、膜厚約80nmのゲート絶縁膜を形成し、周知の方法で、前記結晶質シリコン膜の島近傍にのみ、このゲート絶縁膜が残存するよう、微細加工した（同図（d））。

【0123】つぎに、ゲート金属電極膜を形成する。まず、EB蒸着機（日本真空（株）製、EVC500A）を用い、アルミニウムを約800nm、蒸着する。これを、周知のフォトリソグラフィ法および、燐酸-硝酸-酢酸系混液で微細加工して得た（同図（e））。

【0124】つぎに、周知のフォトリソグラフィ法およびフッ酸系緩衝液を用い、ゲート絶縁膜のうちソース電極部位、およびドレイン電極部位に孔を開けた。つぎに、前述のように、電子ビーム蒸着法でもって、アルミニウム膜を約1.2μm厚になるよう形成し、さらに前述のように、微細加工してソース金属電極膜とドレイン金属電極膜を形成した（同図（f））。

【0125】さらに、つぎに、全体に、プラズマCVD法により、パッシベーション膜として窒化シリコン膜を形成する（同図（g））。

【0126】また、用いるレーザーとしては、エキシマーレーザーの代わりに、アルゴンレーザーを用いても、

同様の結果が得られた。レーザーは、日本電気製、アルゴンレーザー、GLG-3202を基本としたものであった。

【0127】出来上がったTF Tの前記閾値のばらつきは、ほぼ、0.1V以下であり、著者の仮説を裏付けるものであった。また前述のようなBTS法の評価によれば、前記閾値の変動幅は0.1V以下であった。

【0128】

【発明の効果】本発明を実施する際に、TF Tを構成する結晶質シリコン膜や、これとゲート絶縁膜、または界面の性質の抜本改善により、特性の一樣化や信頼性向上に寄与するものであり、TF Tは液晶表示装置への応用や、入出力装置等、価値は大なるものがある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 従来法に対応する結晶化法を説明する構成断面図

【図2】 本発明に関する結晶化法を説明する構成断面図

【図3】 本発明に関する結晶化法を説明する構成断面図

【図4】 本発明に関する結晶化法を説明する構成断面図

【図5】 本発明に関する熱処理法に関する構成断面図

【図6】 本発明に関するドーピング法に関する構成断面図

【図7】 従来法に対応する結晶化法を説明する構成断面図

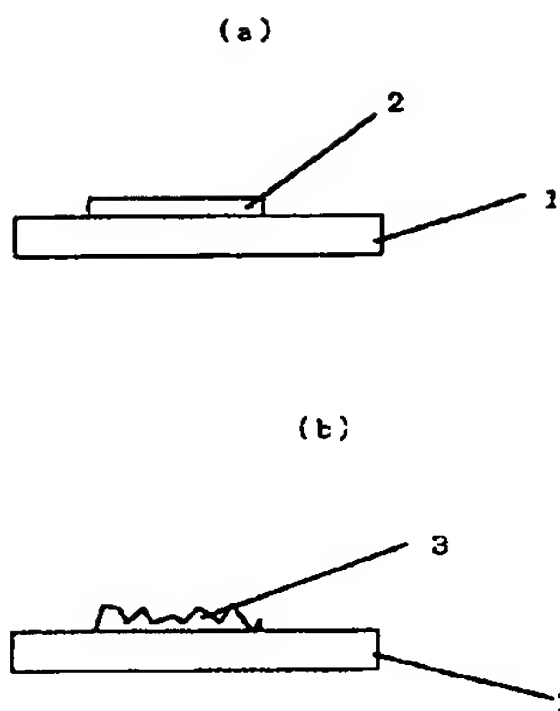
【図8】 本発明に関する結晶化法を説明する構成断面図

【符号の説明】

- 1 基板
- 2 沈積されたシリコン膜
- 3 熔融・再結晶化された結晶質シリコン膜
- 4 基板
- 5 沈積されたシリコン膜
- 6 磁心
- 7 電磁石用コイル
- 8 磁心
- 9 電磁石用コイル
- 10 レーザー光
- 11 磁心
- 12 ポールピース
- 13 電磁石用コイル
- 14 レーザー光
- 15 磁心
- 16 ポールピース
- 17 電磁石用コイル
- 18 レーザー光
- 19 基板
- 20 沈積されたシリコン膜

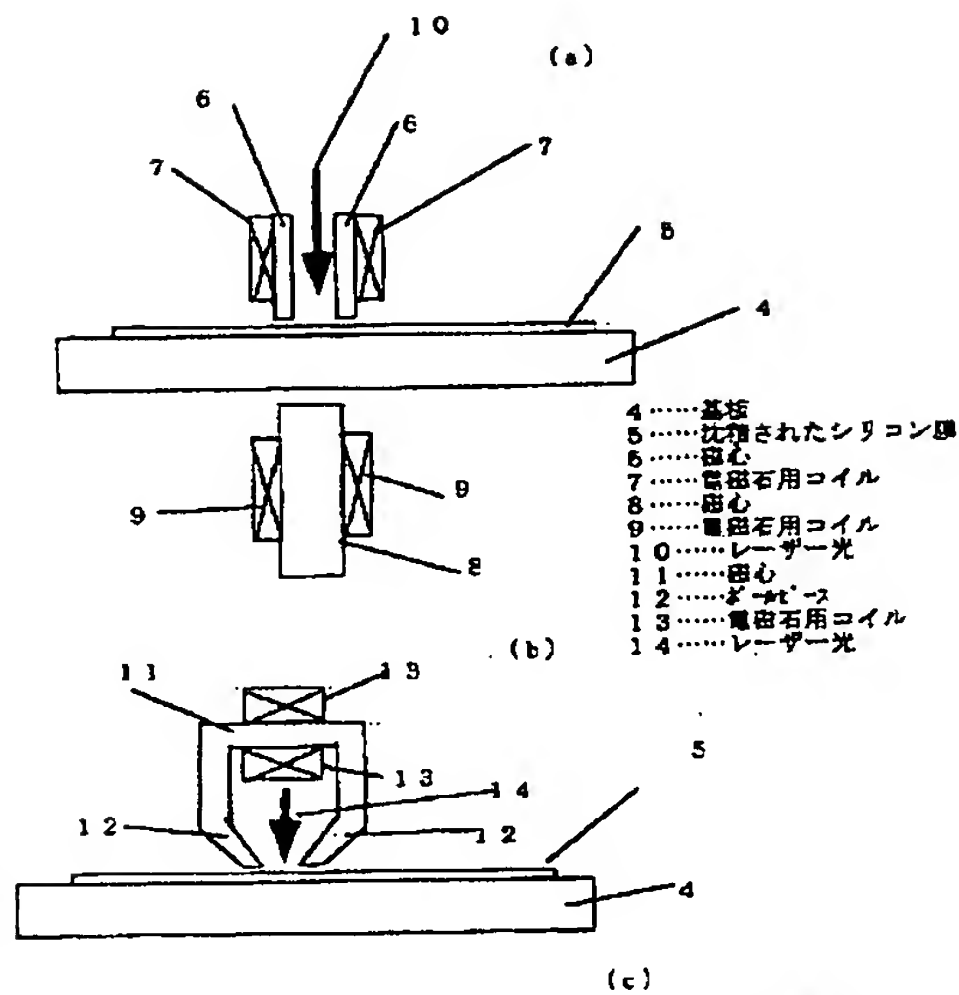
- 21 キャップ膜（ゲート絶縁膜となるもの）
- 22 磁心
- 23 電磁石用コイル
- 24 磁心
- 25 電磁石用コイル
- 26 レーザー光
- 27 磁心
- 28 ポールピース
- 29 電磁石用コイル
- 30 レーザー光
- 31 磁心
- 32 ポールピース
- 33 電磁石用コイル
- 34 レーザー光
- 35 基板
- 36 シリコン膜
- 37 高圧気体導入パイプ
- 38 高圧気体
- 39 レーザー光
- 40 基板
- 41 結晶質シリコン膜
- 42 ゲート絶縁膜用キャップ膜
- 43 レーザー光
- 44 基板
- 45 結晶質シリコン膜
- 46 キャップ膜
- 47 中性子線
- 48 中性子発生装置
- 49 中性子線透過用窓
- 50 基板
- 51 脱水素処理された非晶質シリコン
- 52 レーザー光
- 53 熔融・結晶化して得られる結晶質シリコン膜
- 54 ゲート絶縁膜
- 55 ゲート金属電極膜
- 56 ソース金属電極膜とドレイン金属電極膜
- 57 パッシベーション膜
- 58 基板
- 59 非晶質シリコン膜
- 60 加速された酸素イオン流
- 61 酸素原子密度の極少の非晶質シリコン膜
- 62 酸素原子密度の大なる非晶質シリコン膜
- 63 レーザー光
- 64 熔融結晶化した結晶質シリコン膜
- 65 電子線回折評価で酸化シリコンと同定される膜
- 66 ゲート絶縁膜
- 67 ゲート金属電極膜
- 68 ソース金属電極膜とドレイン金属電極膜
- 69 パッシベーション膜

【図 1】



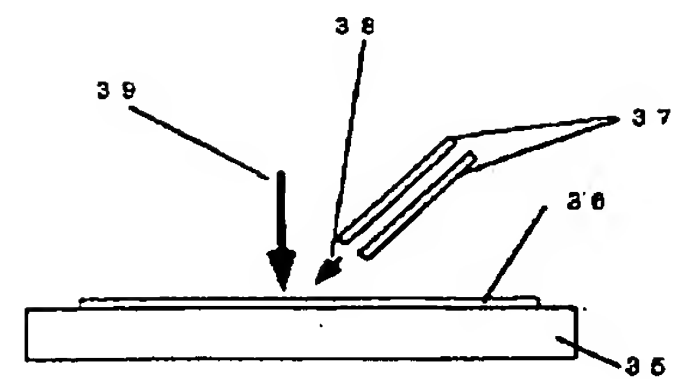
1.....基板
2.....沈着されたシリコン膜
3.....レーザーで熔融・再結晶化した結晶質シリコン膜

【図 2】



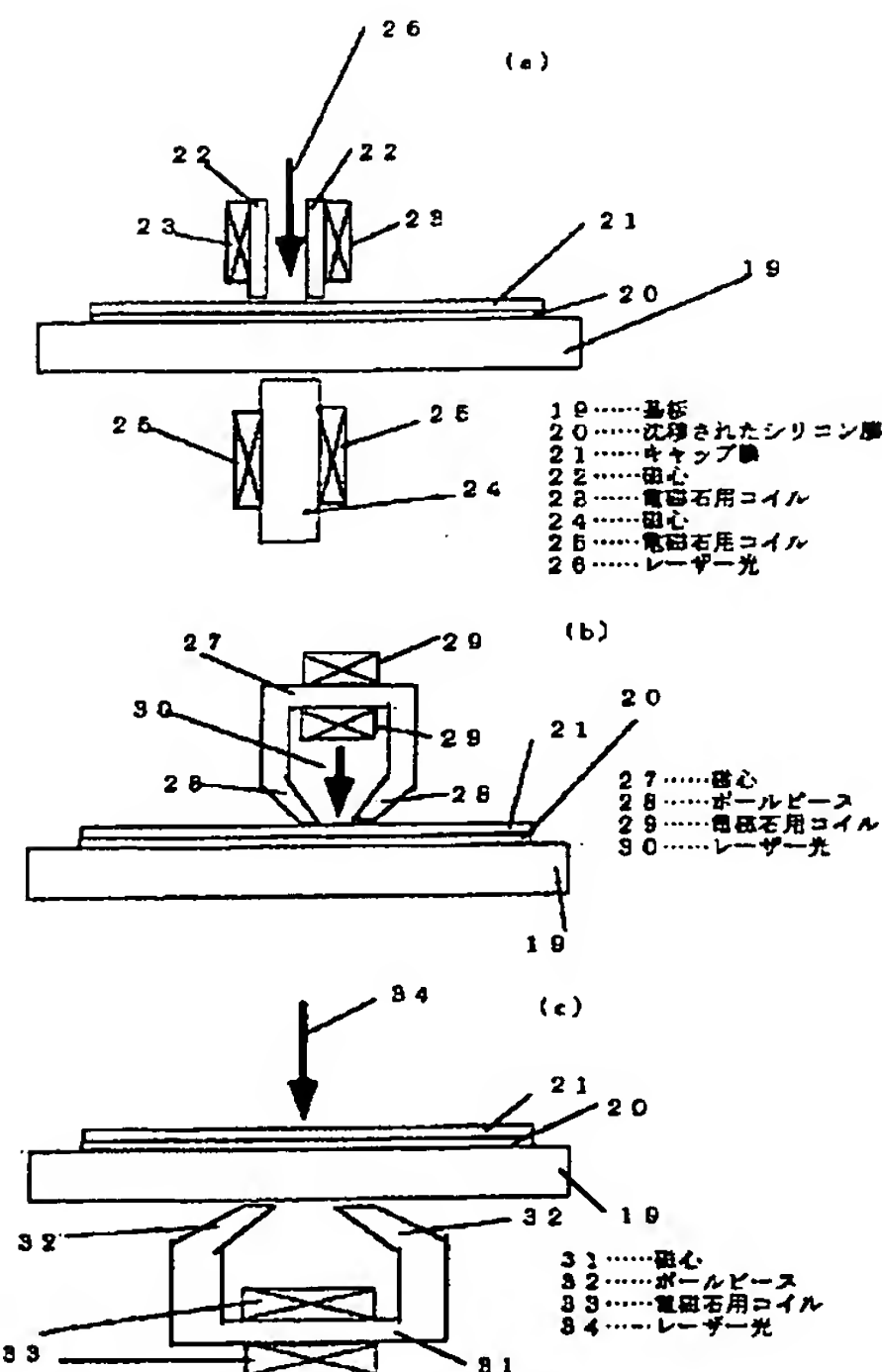
4.....基板
5.....沈着されたシリコン膜
6.....磁心
7.....電磁石用コイル
8.....磁心
9.....電磁石用コイル
10.....レーザー光
11.....磁心
12.....ポールピース
13.....電磁石用コイル
14.....レーザー光

【図 4】



35.....基板
36.....シリコン膜
37.....高圧気体導入パイプ
38.....高圧気体
39.....レーザー光

【図 3】

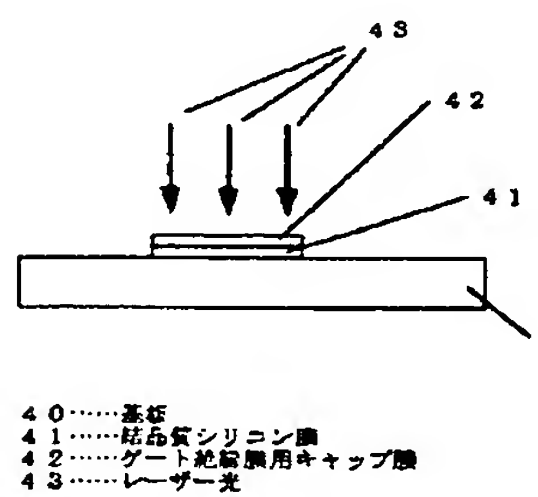


19.....基板
20.....沈着されたシリコン膜
21.....キャップ膜
22.....磁心
23.....電磁石用コイル
24.....磁心
25.....電磁石用コイル
26.....レーザー光

27.....磁心
28.....ポールピース
29.....電磁石用コイル
30.....レーザー光

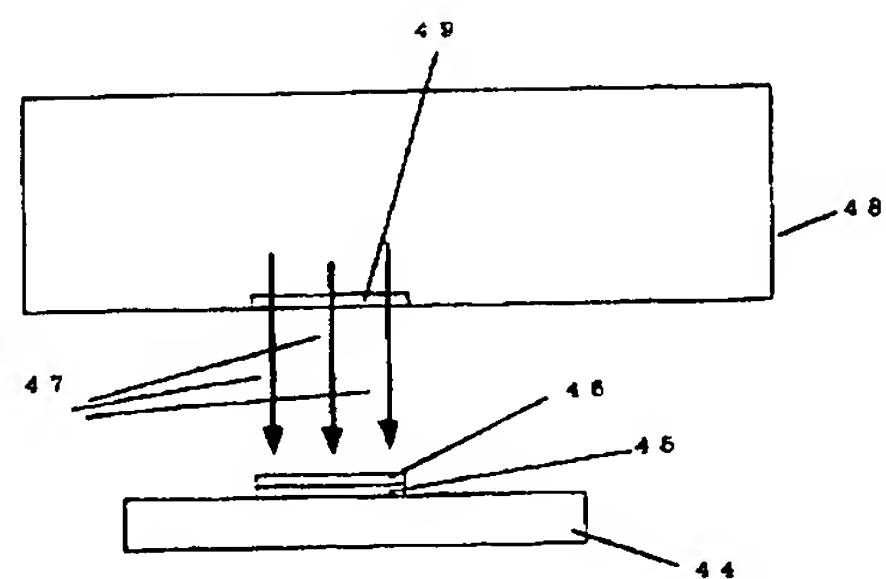
31.....磁心
32.....ポールピース
33.....電磁石用コイル
34.....レーザー光

【図 5】



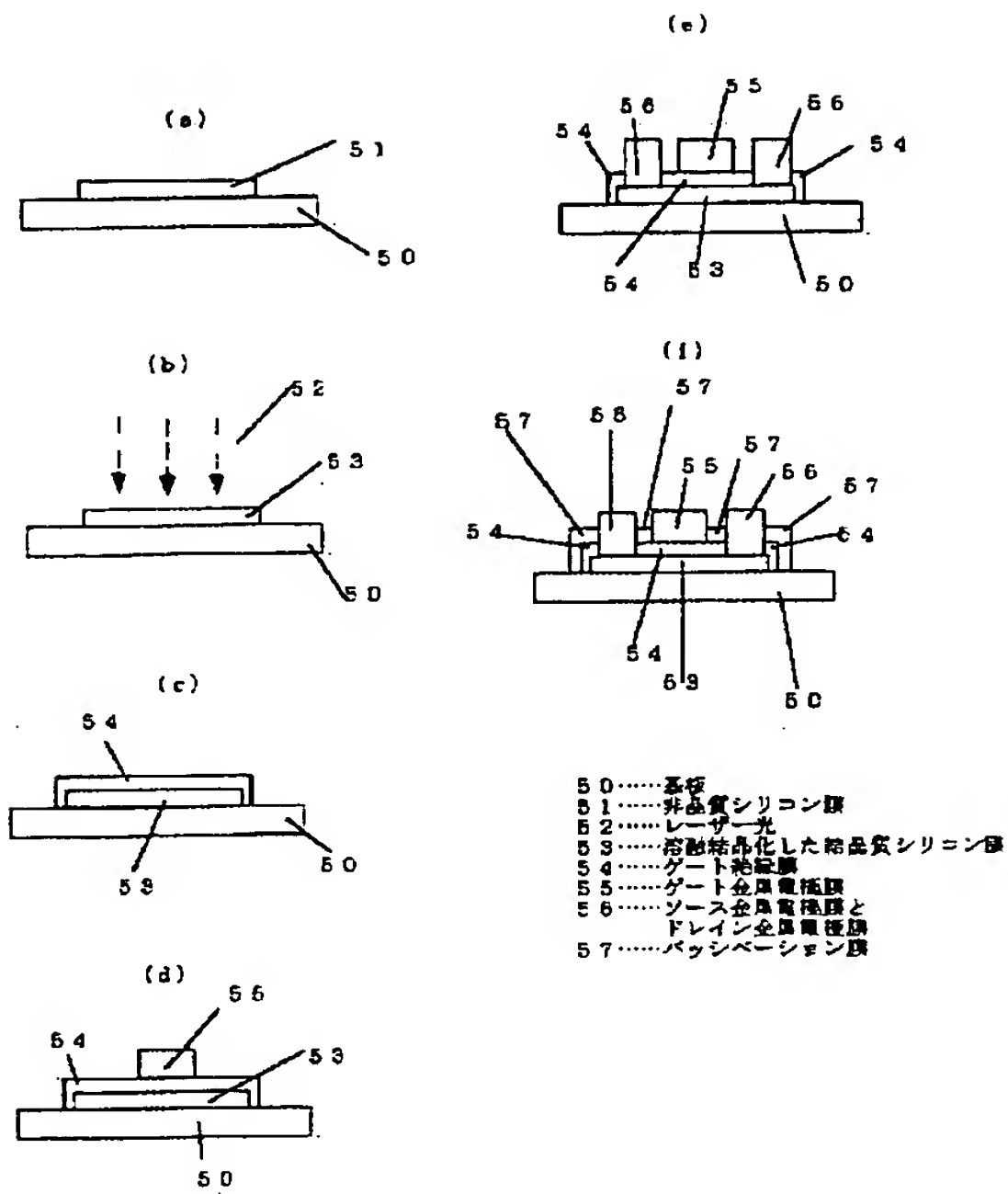
40.....基板
41.....結晶質シリコン膜
42.....ゲート絶縁膜用キャップ膜
43.....レーザー光

【図 6】

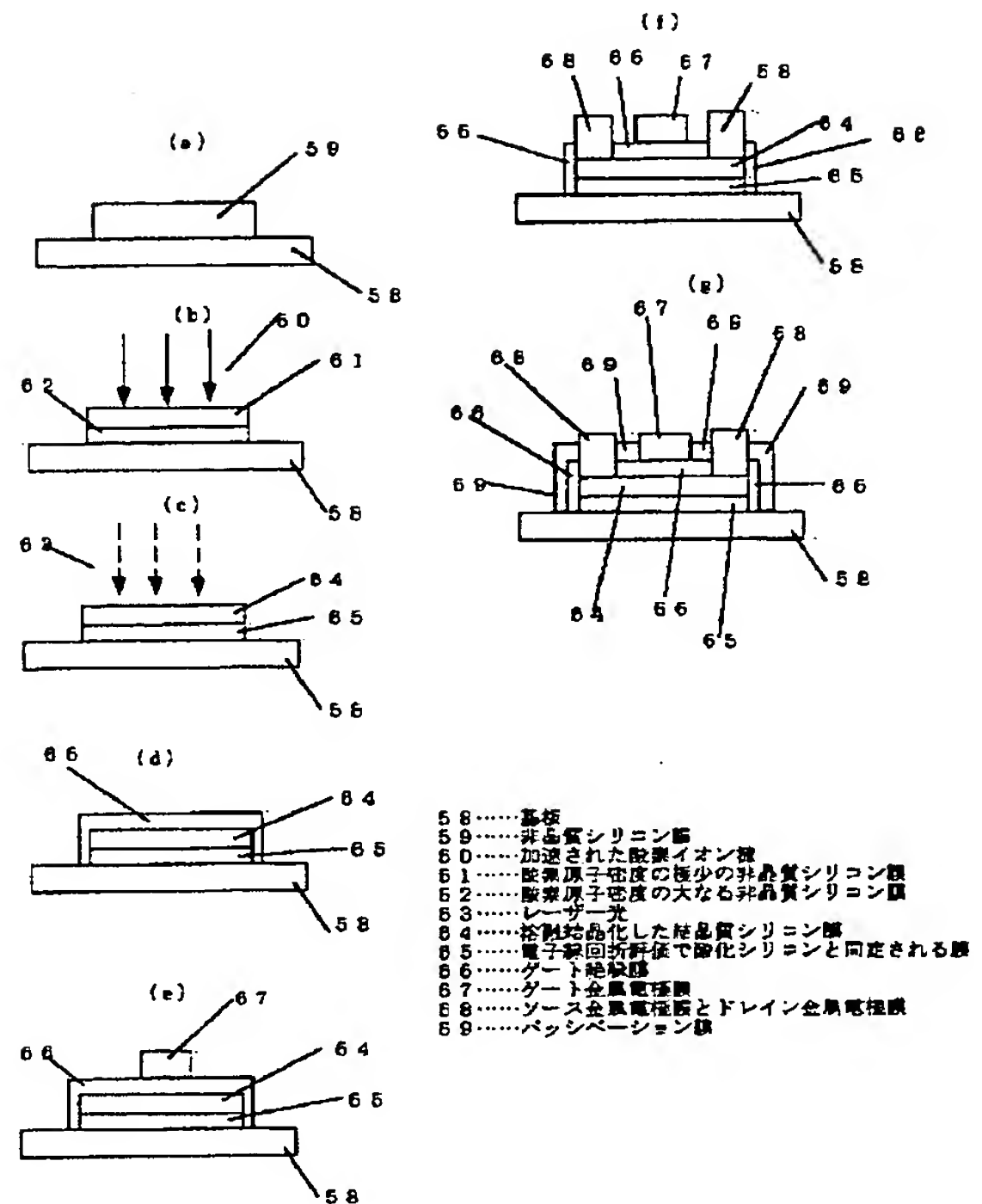


44.....基板
45.....結晶質シリコン膜
46.....キャップ膜
47.....中性子線
48.....中性子発生装置
49.....中性子輸送用管

【図 7】



【図 8】



* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is melting, forming on a substrate the silicon film which has a flat front face, and controlling convection-current migration of a silicon atom then. - Process of the thin film transistor characterized by making it crystalize and obtaining the crystalline substance silicon film.

[Claim 2] It is melting, forming on a substrate the silicon film which has a flat front face, then forming gate dielectric film, and controlling convection-current migration of a silicon atom further. - Process of the thin film transistor characterized by making it crystalize and obtaining the crystalline substance silicon film.

[Claim 3] The process of a thin film transistor given in claims 1 and 2 characterized by making melting of the silicon film by laser radiation.

[Claim 4] The process of the thin film transistor according to claim 3 to which laser is characterized by being an excimer laser.

[Claim 5] The process of the thin film transistor according to claim 3 to which laser is characterized by being an argon laser.

[Claim 6] The process of a thin film transistor given in claims 1 and 2 which impress a magnetic field and are characterized by controlling convection-current migration of a silicon atom at the time of melting-crystallization.

[Claim 7] The process of a thin film transistor given in claims 1 and 2 which spray high-pressure force inert gas and are characterized by controlling convection-current migration of a silicon atom at the time of melting-crystallization.

[Claim 8] The process of the thin film transistor momentarily characterized by heating crystalline substance silicon at about 1000 degrees C or more and about 1400 degrees C or less after gate-dielectric-film formation in contact with crystalline substance silicon and this.

[Claim 9] The process of the thin film transistor according to claim 8 characterized by heating crystalline substance silicon by laser radiation.

[Claim 10] The process of the thin film transistor according to claim 9 to which laser is characterized by being an excimer laser.

[Claim 11] The process of the thin film transistor according to claim 9 to which laser is characterized by being an argon laser.

[Claim 12] The process of the thin film transistor according to claim 8 characterized by heating crystalline substance silicon by high frequency induction heating.

[Claim 13] The process of the thin film transistor characterized by performing exposure and threshold control of a thin film transistor for a neutron in the channel section of crystalline substance silicon.

[Claim 14] The process of the thin film transistor according to claim 13 characterized by heat-treating in a vacuum or an inert atmosphere above 600 degrees C after neutron irradiation.

[Claim 15] The silicon film which has a flat front face is formed on a substrate, then, the ion implantation of the oxygen ion is carried out to a depth of about 100nm or more from the surface of this silicon film, and then it is melting about this silicon film. - Process of the thin film transistor

characterized by including the process in which make it crystalize and the crystalline substance silicon film is obtained.

[Claim 16] the silicon film which has a flat front face on a substrate -- forming -- the next -- this substrate -- 500 degrees C from -- 600 degrees C Maintaining at the constant temperature of a between The ion implantation of the oxygen ion is carried out to a depth of about 100nm or more from the surface of this silicon film, and then it is this substrate About 600 degrees C At the above temperature It heat-treats for about 10 hours or more, then laser light is irradiated, and it is melting about the silicon film. - Process of the thin film transistor characterized by including the process in which make it crystalize and the crystalline substance silicon film is obtained.

[Claim 17] The process of a thin film transistor given in claims 15 and 16 characterized by a substrate being borosilicate system glass. [Claim 18] The process of the thin film transistor according to claim 16 to which laser is characterized by being an excimer laser.

[Claim 19] The process of the thin film transistor according to claim 16 to which laser is characterized by being an argon laser.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the basic technique of a thin film transistor (TFT) of having a field effect transistor (FET) function. Furthermore, this invention relates to the polycrystalline silicon TFT formed at the highest process temperature of about 650 degrees C or less. The temperature of about 650 degrees C is a maximum temperature which commercial borosilicate glass can bear. Especially, it is further related [the stabilizing treatment of improvement in the surface surface smoothness of polycrystalline silicon, the interior of a gate insulating layer, and a gate insulating-layer-polycrystalline silicon interface, and] with the repeatability of a threshold about reservation of the repeatability of the Fermi level of the homogeneity doping method of the channel section, and the carrier of the channel section.

[0002]

[Description of the Prior Art] About a Prior art, it is detailed to "Digest of Technical Papers;AM-LCD 98." Moreover, the process of common knowledge of TFT is also described.

[0003] The backbone slack polycrystalline silicon of TFT is because crystallization is made on a substrate (for example, after forming amorphous silicon). For surface flattening of the crystallized polycrystalline silicon, around 1996, the cap by diacid-ized silicon etc. is formed on amorphous silicon, and melting and crystallization of will be done in the case of laser radiation. There is no big technical progress after it.

[0004] In addition, also in the TFT process which includes acquiring momentary rapid melting and momentary solidification, and crystallization with polycrystalline silicon by laser radiation also in this case, the maximum temperature of a stationary process can be held down to about 650 degrees C. In fact, because an instant and melting silicon touch the substrate (i.e., an instant), a substrate costs the temperature of about 1400 degrees C or more.

[0005] Heat-resistant borosilicate glass is used and a substrate is usually borne at an instant, for example, 1400-degree C heat. As temperature borne regularly, when a glass substrate is set to the general Corning, Inc. make and #1737, about 650 degrees C is a limitation. Restricting the maximum temperature of a stationary process to about 650 degrees C in this semantics has large semantics. Especially the stabilizing treatment of the interior of a gate insulating layer and a gate insulating-layer-polycrystalline silicon interface is not made. In the case of a reverse stagger mold, it is thought that it is made by heat treatment to some extent as a subprocess of a process by the laser radiation of amorphous silicon in the case of momentary rapid melting.

[0006] Moreover, doping is made by the ion implantation. For formation of complementary MOS, a threshold needs to arrange correctly within and without V [about 1.5]. (TFT moves in in alder SUMENTO mode altogether.)

[0007] In the thin film transistor formed through such a process, the homogeneity and the dependability of a property of the electrical characteristics of TFT in an initial property always pose a problem. The homogeneity of said electrical characteristics is mainly evaluated paying attention to the gate voltage

corresponding to a standup, i.e., the gate threshold, of a drain current in the drain current-gate voltage characteristic. Dependability is evaluated paying attention to aging of this threshold.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] first, ** which constitutes TFT -- it needs to be flat. Extent of the irregularity of the front face of polycrystalline silicon has the critical defect of an electron, an electron hole, etc. being poured into an ununiformity according to the channel effect etc. in the case of influencing greatly in the mobility of a carrier, and the ion implantation to this polycrystalline silicon. It is in the inclination to be hard to attain homogeneity doping by the ion implantation, therefore it to serve as variation size of the threshold of FET for the irregularity of the polycrystalline silicon film etc.

[0009] A configuration sectional view shows this situation to [drawing 1]. In this drawing, the silicon film with which 1 was used as the substrate and the sediment of 2 was carried out first, and 3 are scanned with the excimer laser of for example, a chlorination xenon, and are melting and the crystalline substance silicon film which it recrystallized.

[0010] In this drawing, in the usual technique, the roughness of the front face of the silicon film by chemical vapor deposition (CVD method) etc. by which sediment was carried out is about 0.001 micrometers, when thickness is set to about 0.05 micrometers. The irregularity of melting and the crystalline substance silicon film which it recrystallized is a trough and a crest, and amounts to about 0.05 micrometers. That is, the irregularity of thickness extent arises. It is understood that this place to which it therefore comes is intense convection-current movement of a silicon atom in the case of momentary melting. That is, migration by convection-current movement of a silicon atom is large, and is connected with irregularity. This is a conclusion from observation in the case of the crystal growth by the Czochralski method of a silicon single crystal ingot.

[0011] Moreover, the following observation also serves as backing of the upper argument. That is, when the silicon film by which sediment was carried out is gradually crystallized by heat-treating at about 800 degrees C or more below the melting point of silicon for several hours to about 100 hours, flat [of the front face of the obtained crystalline substance silicon film] is saved. This needs to use an expensive quartz plate as a substrate.

[0012] The examined approach will be being the diacid-ized silicon film and cap film, such as a silicon nitride film, and carrying out by covering the silicon film in the case of melting and recrystallization by laser radiation, around 1995 because of improvement in the surface surface smoothness of this melting and the crystalline substance silicon film which it recrystallized. If a result does not lower the exposure power of laser light, the fatal difficulty that said cap film breaks will happen. Moreover, if laser power is lowered, the problem that melting and recrystallization do not take place enough will be derived. The cracks of said cap film are idea ** when it originates in the intense convection current of the silicon atom of a melting condition.

[0013] Especially, in the case of the stagger mold TFT (top gate TFT), the channel section the carrier of an MOS property runs poses a great problem, because is rich in irregularity. Of course, also in the reverse stagger mold TFT (undershirt gate TFT), the heterogeneity of an ion implantation etc. has many problems.

[0014] This problem is considered that a clear cut end does not exist with the conventional method.

[0015] Moreover, in an integrated-circuit (IC) technique, a gate insulating layer is obtained by being an ambient atmosphere containing a steam, and warming and oxidizing single crystal silicon thermally at about 1100 degrees C or more. It is thought by this temperature processing that it has acquired the precise gate insulating layer with little electric level and the stable gate insulating-layer-polycrystalline silicon interface with little level.

[0016] However, in TFT using the polycrystalline silicon whose formation temperature which requires this invention is low temperature comparatively, especially the stabilizing treatment of the interior of a gate insulating layer and a gate insulating-layer-polycrystalline silicon interface is not made. Especially, in the case of the stagger mold TFT, that is right. In the case of a reverse stagger mold, it is thought that it is made by heat treatment to some extent as a subprocess of a process by the laser radiation of amorphous silicon in the case of momentary rapid melting. However, in the case of this reverse stagger,

the present condition is that optimization is not made. This affects the dependability of TFT.

[0017] Moreover, ion implantations controlled by the channel section of TFT, such as control of the threshold of TFT, are made. The semi-conductor section is polycrystalline silicon and uniform impregnation is rather difficult by existence of a grain boundary at the channel effect etc. Moreover, the activation degree of an impregnation kind is also influenced in the grain boundary, and serves as doping with a local shade. Moreover, in the case of the TFT technique related to this invention, heat treatment temperature for activation cannot be raised enough. Therefore, the rate of activation differs in about 50%. This means existence of the impurity atom which is not activated, this causes dispersion of a carrier and the mobility of a carrier deteriorates so much. In the Nor Marie condition of TFT, a threshold needs to arrange correctly within and without V [about 1.5] for formation of complementary MOS which controlled power consumption. That is especially right when meaning construction of a digital disposal circuit now especially.

[0018] The process of melting and recrystallization is an instant. For example, when based on an excimer laser, pulse width is about 50n second from 10n second. That is, from a thermal equilibrium process, it is a far process. Therefore, it is hard to secure the repeatability of the control of this process by details ****. For example, control of the temporal response of the exposure power in pulse width, the control of the peak value of exposure power of a problem being in repeatability, etc. are well-known. Therefore, there is a limit in the repeatability of the band structure of the carrier of melting and the crystalline substance silicon film which it recrystallized. For example, it is difficult to always reappear in the same situations, such as a crystal defect. Therefore, repeatability, such as a Fermi level of a carrier, is difficult, and when this thing is used as a channel, variation arises in a threshold.

[0019] Conventionally, the homogeneity of the initial property of TFT was inadequate. When it is going to constitute a circuit from this TFT group, although less than [**0.1V] is required for dispersion in said threshold, first of all, it is the present condition and more than **0.5V. Moreover, dependability is estimated by for example, the BTS method (Bias Temperature Stress law) by migration of threshold voltage. 100 degrees C of concrete conditions are about 10V and the thing impressed for 30 minutes between the gate, the source and the gate, and a drain. The movement magnitude of a next threshold estimates dependability. This dependability is also insufficient. Although a need property is made into the threshold shift and less than [0.1V] is required for it, there are about [V or more] 0.5 in the present condition.

[0020] The upper limit of said threshold dispersion demanded and **0.1V originate in formation of CMOS (complementary MOS).

[0021] Especially, in the case of the stagger mold (= top gate) structure TFT, it is guessed from results, such as high sensitivity SIMS (secondary ion mass spectrograph), that advance of diffusion of the impurity to the polycrystalline silicon layer from a substrate is the cause of aggravation of said dependability (Japan Society of Applied Physics data).

[0022]

[Means for Solving the Problem] It is melting, controlling [in order to solve said technical problem, this invention forms the silicon film which has a flat front face on a substrate, and] convection-current migration of a silicon atom then. - The process of a thin film transistor which is crystallized and obtains the crystalline substance silicon film is offered.

[0023] Furthermore, this invention is melting, forming on a substrate the silicon film which has a flat front face, then forming gate dielectric film, and controlling convection-current migration of a silicon atom further. - The process of a thin film transistor which is crystallized and obtains the crystalline substance silicon film is shown.

[0024] Moreover, it is desirable to make melting of said silicon film by laser radiation. Moreover, when it sees from the relation of absorption of the energy of the silicon film, it is, It is desirable for laser to be an excimer laser. Especially, a thing with an oscillation wavelength of about about 300nm is desirable. Moreover, in order to ease the irregularity of melting and the solidified silicon film, the high power laser of continuous oscillation is desirable, and it is desirable to use an argon laser at this point.

[0025] This invention proposes the process of a thin film transistor which impresses a magnetic field

using the diamagnetism of a silicon atom, in order to control convection-current migration of the silicon atom at the time of melting-crystallization. In the fusion zone of the silicon film, about 2000 gauss or more of flux density are desirable.

[0026] This invention proposes spraying high-pressure force inert gas as another means to control the convection current, at the time of melting-crystallization.

[0027] Furthermore for stabilization of the interface of gate dielectric film, and this and crystalline substance silicon, this invention carries out the process of a thin film transistor which heats crystalline substance silicon at about 1000 degrees C or more and about 1400 degrees C or less for whether being ** momentarily after gate-dielectric-film formation. Under the present circumstances, it is simple that crystalline substance silicon is heated by laser radiation. An excimer laser thru/or an argon laser are mentioned similarly [the above-mentioned argument] as desirable laser. Another desirable approach is carrying out high-frequency heating of the crystalline substance silicon.

[0028] Moreover, this invention offers the process of a thin film transistor which irradiates a neutron beam at the channel section of crystalline substance silicon, although it moreover almost has n mold impurity at 100% of rate of activity at homogeneity and it is introduced without heat treatment for activation for threshold control of TFT. The thermal neutron of a neutron is desirable. furthermore, in order to prevent recovery of the radiation damage of the silicon film, and the bad influence of an oxygen impurity defect (usually -- an oxygen atom -- abbreviation, 10^{18} atom /cm³ -- contained two or more) after this, it is 600 degrees C or more after neutron irradiation, and it is almost indispensable to heat-treat crystalline substance silicon in a vacuum or an inert atmosphere.

[0029] Furthermore, in order to solve said technical problem, on a substrate, the silicon film which has a flat front face is formed, and then the ion implantation of the oxygen ion is carried out to a depth of about 100nm or more from the surface of this silicon film, and then, it is melting about this silicon film. - The process of a thin film transistor which includes the process in which make it crystalize and the crystalline substance silicon film is obtained is clarified.

[0030] The silicon film which has a flat front face is more specifically formed on a substrate, and then it is this substrate 500 to 600 degrees C Maintaining at the constant temperature of a between The ion implantation of the oxygen ion is carried out to a depth of about 100nm or more from the surface of this silicon film, and then it is this substrate About 600 degrees C At the above temperature It heat-treats for about 10 hours or more, then laser light is irradiated, and it is melting about the silicon film. - The technique of including the process in which make it crystallize and the crystalline substance silicon film is obtained is shown.

[0031] Under the present circumstances, as a substrate, it sees from cost and borosilicate system glass is desirable. Moreover, as laser, an excimer laser or an argon laser is desirable.

[0032]

[Embodiment of the Invention] This invention is explained more concretely than the following.

[0033] A substrate top, rapid melting - It deals in the irregularity of the free surface (field which touched the air by the side of a substrate and reverse) of the crystallized crystalline substance silicon film with the above-mentioned argument, and it originates in the rapid migration by the convection current of the silicon atom at the time of fusing. Therefore, by consideration, in order to acquire a smoother free surface, it proposes controlling migration of the silicon atom in melting silicon.

[0034] By [which write] carrying out, the impregnation consistency in the case of an ion implantation and the local heterogeneity of activation of an impregnation kind are improvable. That is, the situation of impregnation becomes an ununiformity with the extreme heterogeneity of silicon thickness. Moreover, it is easy to segregate the impregnation kind in an INTASUCHISSHARU location etc. to concave heights in the case of activation by the heat of an impregnation kind.

[0035] Moreover, the mobility of electron of a carrier is [deteriorating by the concave convexity of the channel section which this runs] well-known. Moreover, at the time of actuation of TFT by which gate dielectric film was formed in this, electric field concentrate on the depression of heights ***** or a crevice, and cause degradation. This invention improves these.

[0036] This is considered from experience of the Czochralski method of a silicon single crystal, and has

the secondary advantage that the diffusion to the crystalline substance silicon film of the oxygen atom from a substrate can be controlled again.

[0037] Moreover, outstanding technique is clarified about the case of a stagger mold, i.e., a top gate mold. The silicon film is formed on a substrate by chemical vapor deposition (CVD method), plasma ASHISUTIDDO chemical vapor deposition (plasma-CVD method), or the sputtering technique. The silicon film at this time is an amorphous substance or nature silicon film of a microcrystal, and the front face is very smooth. When irregularity plans thickness of the silicon film with a level difference plan in the case of about 50nm, it is 0.5nm or less. the film corresponding to gate dielectric film with a thickness of about 100nm next -- the whole surface -- it forms. For example, as for this gate dielectric film, the diacid-ized silicon film, 5 tantalum oxide film, the aluminum-oxide film, a silicon nitride film, etc. are used. As for the formation technique, a CVD method, a plasma-CVD method, a sputtering technique, etc. are used. The film by the plasma-CVD method of a tetra-ethoxy silane was excellent.

[0038] Then, they are an instant and heating about the silicon film. - It is made to cool, namely, is melting. - It is made to crystallize and crystalline substance silicon is obtained. In the moment of this melting, this invention is just going for carrying out by devising the technique of controlling convection-current migration of a silicon atom to claim.

[0039] The above-mentioned argument is materialized about this. And gate dielectric film and a gate-dielectric-film-silicon film interface are exposed to the momentary elevated temperature in the case of melting of the silicon film. therefore, the electronic energy level resulting from incompleteness, such as gate dielectric film and an interface, -- being certain -- it is ***** (ed) and reduced. The defect resulting from the oxygen atom of the minute amount which still exists especially is extinguished. And 450 degrees C or less quench from the temperature of 1000 degrees C or more. Therefore, spare time of generating of the donor level by the oxygen atom of ultralow volume is not given.

[0040] Although this kind of examination was performed conventionally, gate dielectric film was destroyed by sufficient sudden heating by laser etc., and quenching, for example. This thought that migration of a silicon atom was intense and the film was damaged by melting of the silicon film by sudden heating. In view of this, this invention was made and did not occur this **** convenience in operation of this invention.

[0041] The semantics which mitigates a thermal load to a substrate was made by laser radiation, and melting of such silicon film had it. [desirable] Moreover, as such laser, it is the semantics which makes energy-absorbing perform only on the silicon film, namely, is the semantics which makes slight absorption of the Corning, Inc. make and #1737 grade, and short wavelength light laser thru/or ultraviolet laser are desirable. An excimer laser and an argon laser are desirable at this point.

[0042] In order to control convection-current migration of a silicon atom in the moment of melting of the silicon film, more specifically, it is impressing a magnetic field to this fusion zone between melting. It is a static magnetic field desirably and it is desirable as magnetic flux for an parallel component to be in the silicon film. Moreover, on an experiment, about 2500 gauss or more of magnetic field strength are desirable.

[0043] That the convection current is controlled now understands that it is based on the diamagnetism of a silicon atom.

[0044] moreover, the case where the display flatness of the crystalline substance silicon film (about 50nm of thickness) of which melting-crystallization was done enlarges magnetic field strength enough -- irregularity -- carrying out -- about 3nm or less -- it was able to carry out. This improves sharply compared with the former.

[0045] Moreover, according to secondary high sensitivity ion mass analysis (high sensitivity SIMS), the single or more figures content of impurity oxygen had decreased as compared with the case where this magnetic field impression is not made. It is thought that this oxygen is probably coming from the substrate. When the Corning, Inc. make and #1737 glass were used, the single or more figures impurity considered to be boron microscopic in addition to oxygen and diffusion from substrate ingredients, such as barium, had also decreased the substrate.

[0046] This technique forms gate dielectric film on the silicon film, and is after it and melting. -

Remarkable effectiveness is demonstrated also when crystallizing.

[0047] It explains more concretely.

[0048] The technique of controlling the rapid migration by the convection current of the silicon atom at the time of impressing and fusing a static magnetic field is explained in the case of melting-crystallization of the silicon film. A configuration sectional view shows three sorts of methods (a), (b), and (c) to [drawing 2]. the silicon film with which the sediment of a substrate and 5 was carried out for 4 in this drawing, and 6 -- a core and 7 -- the coil for electromagnets, and 8 -- a core and 9 -- the coil for electromagnets, and 10 -- laser light and 11 -- for the coil for electromagnets, and 14, as for a core and 16, laser light and 15 are [a core and 12 / pole piece and 13 / the coil for electromagnets and 17] laser light.

[0049] On the Corning, Inc. make, borosilicate glass, and #1737, with the sputtering system, it covered with the diacid-ized silicon film with a thickness of about 500nm, and considered as the substrate 4.

About 50nm amorphous silicon film was made into the substrate temperature of about 320 degrees C, and was formed in this by the plasma-CVD method. This CVD condition makes the amount of content hydrogen about 0.5% or less. It formed from the block of the soft iron of cores 6 and 11 and 15 **, or the pipe. Coils 7, 13, and 16 were wound around these, and it considered as the electromagnet.

Moreover, for concentration of magnetic flux, and directional control, by a part of examination, the pole piece 12 which consists of soft iron was formed, as shown in this drawing.

[0050] It is rapid on a substrate. It deals in the irregularity of the free surface (field which touched the air by the side of a substrate and reverse) of the crystalline substance silicon film carried out with the above-mentioned argument, and it originates in the rapid migration by the convection current of the silicon atom at the time of fusing. Therefore, by consideration, in order to acquire a smoother free surface, it proposes controlling migration of the silicon atom in melting silicon.

[0051] By [which write] carrying out, the impregnation consistency in the case of an ion implantation and the local heterogeneity of activation of an impregnation kind are improvable. That is, the situation of impregnation becomes an ununiformity with the extreme heterogeneity of silicon thickness. Moreover, it is easy to segregate the impregnation kind in an INTASUCHISSHARU location etc. to concave heights in the case of activation by the heat of an impregnation kind.

[0052] Moreover, the mobility of electron of a carrier is [deteriorating by the concave convexity of the channel section which this runs] well-known. Moreover, at the time of actuation of TFT by which gate dielectric film was formed in this, electric field concentrate on the depression of heights ***** or a crevice, and cause degradation. This invention improves these.

[0053] This is considered from experience of the Czochralski method of a silicon single crystal, and has the secondary advantage that the diffusion to the crystalline substance silicon film of the oxygen atom from a substrate can be controlled again.

[0054] Moreover, outstanding technique is clarified about the case of a stagger mold, i.e., a top gate mold. The silicon film is formed on a substrate by chemical vapor deposition (CVD method), plasma ASHISUTIDDO chemical vapor deposition (plasma-CVD method), or the sputtering technique. The silicon film at this time is an amorphous substance or nature silicon film of a microcrystal, and the front face is very smooth. When irregularity plans thickness of the silicon film with a level difference plan in the case of about 50nm, it is 0.5nm or less. the film corresponding to gate dielectric film with a thickness of about 100nm next -- the whole surface -- it forms. For example, as for this gate dielectric film, the diacid-ized silicon film, 5 tantalum oxide film, the aluminum-oxide film, a silicon nitride film, etc. are used. As for the formation technique, a CVD method, a plasma-CVD method, a sputtering technique, etc. are used. The film by the plasma-CVD method of a tetra-ethoxy silane was excellent.

[0055] Then, they are an instant and heating about the silicon film. - It is made to cool, namely, is melting. - It is made to crystallize and crystalline substance silicon is obtained. In the moment of this melting, this invention is just going for carrying out by devising the technique of controlling convection-current migration of a silicon atom to claim.

[0056] The above-mentioned argument is materialized about this. And gate dielectric film and a gate-dielectric-film-silicon film interface are exposed to the momentary elevated temperature in the case of

melting of the silicon film. therefore, the electronic energy level resulting from incompleteness, such as gate dielectric film and an interface, -- being certain -- it is ***** (ed) and reduced. The defect resulting from the oxygen atom of the minute amount which still exists especially is extinguished. And 450 degrees C or less quench from the temperature of 1000 degrees C or more. Therefore, spare time of generating of the donor level by the oxygen atom of ultralow volume is not given.

[0057] Although this kind of examination was performed conventionally, gate dielectric film was destroyed by sufficient sudden heating by laser etc., and quenching, for example. This thought that migration of a silicon atom was intense and the film was damaged by melting of the silicon film by sudden heating. In view of this, this invention was made and did not occur this **** convenience in operation of this invention.
 [0058] The semantics which mitigates a thermal load to a substrate was made by laser radiation, and melting of such silicon film had it. [desirable] Moreover, as such laser, it is the semantics which makes energy-absorbing perform only on the silicon film, namely, is the semantics which makes slight absorption of the Corning, Inc. make and #1737 grade, and short wavelength light laser thru/or ultraviolet laser are desirable. An excimer laser and an argon laser are desirable at this point.

[0059] In order to control convection-current migration of a silicon atom in the moment of melting of the silicon film, more specifically, it is impressing a magnetic field to this fusion zone between melting. It is a static magnetic field desirably and it is desirable as magnetic flux for an parallel component to be in the silicon film. Moreover, on an experiment, about 2500 gauss or more of magnetic field strength are desirable.

[0060] That the convection current is controlled now understands that it is based on the diamagnetism of a silicon atom.

[0061] moreover, the case where the display flatness of the crystalline substance silicon film (about 50nm of thickness) of which melting-crystallization was done enlarges magnetic field strength enough -- irregularity -- carrying out -- about 3nm or less -- it was able to carry out. This improves sharply compared with the former.

[0062] Moreover, according to secondary high sensitivity ion mass analysis (high sensitivity SIMS), the single or more figures content of impurity oxygen had decreased as compared with the case where this magnetic field impression is not made. It is thought that this oxygen is probably coming from the substrate. When the Corning, Inc. make and #1737 glass were used, the single or more figures impurity considered to be boron microscopic in addition to oxygen and diffusion from substrate ingredients, such as barium, had also decreased the substrate.

[0063] This technique forms gate dielectric film on the silicon film, and is after it and melting. - Remarkable effectiveness is demonstrated also when crystallizing.

[0064] It explains more concretely than (an example 1). [Drawing 2], (a), (b), and (c) are the configuration sectional views for explaining this invention.

[0065] The borosilicate glass of low alkali and #1737 came to hand from Corning, Inc. By the product made from a Japanese vacuum, the RF sputtering system, and the sputtering technique that used SPF-312, about 600nm diacid-ized silicon layer was formed in the whole surface, and it considered as the substrate 4 at this. About 60nm amorphous silicon film was formed in this. Although this is formed by the CVD method, a plasma-CVD method, etc., it is made in a SAMUKO international lab and the plasma-CVD method which used PD-2400 here, however usually carried out the sediment of the substrate temperature as about 330 degrees C. The amount of hydrogen in the silicon film by which sediment was carried out on this condition is small. Moreover, as surface display flatness of the silicon film by which sediment was carried out, it is scanning electron microscope observation and thing about 20nm or less is obtained easily. Micro processing of this silicon film was carried out to the shape of an island by the well-known approach.

[0066] The electromagnet for generating magnetic flux twisted and formed the coil in cores 6, 8, 11, and 15, i.e., a soft iron block, or hollow tubing. In order to centralize magnetic flux, the pole piece 12 and 16 made of soft iron was formed in the core by the case.

[0067] Three sorts of magnetic field impressing methods (a), (b), and (c) were examined about the

situation of how, i.e., magnetic flux, to apply a static magnetic field at the time of a laser light exposure. [0068] (Drawing 2) In (a), the electromagnet of the substrate upper and lower sides examined the case where N pole, N pole or the south pole, and the south pole counter, and the case where it was made for a different polar magnetic pole, i.e., N pole and the south pole, to counter so that the same **** might counter. Flux density near the glass was locally made into about 4000 gauss or more as a result of the simulation-evaluation by the hall device. When the magnetic pole of like-pole nature counters as a result of easy simulation, the line of magnetic force near the substrate has a component parallel to a substrate, and a perpendicular component, and when the magnetic pole of heteropolarity counters, a component perpendicular to a substrate becomes main [near the substrate]. (Drawing 2) In (b), it aims at centralizing magnetic flux parallel to a substrate near the substrate. For this reason, the pole piece 12 made of soft iron was formed. Flux density was about 3500 gauss. Moreover, also in ((drawing 2) c), it had the same effectiveness as (b). However, in arrangement with the instrument for the exposure of laser light by the reason which formed the electromagnet in the substrate background, (c) has the advantage of becoming simple from (b).

[0069] In addition, at the time of melting-solidification crystallization of the silicon film, it is essence that static magnetic field several 1000 gauss or more exists, for example, in the case of the small area substrate of about 40cm angle extent, this invention can also give a magnetic field somewhat economically to a melting-solidification crystallization part with the usual electromagnet or the electromagnet by the superconducting coil. Of course, it becomes line of magnetic force parallel to a silicon film surface on account of the exposure of laser light in this case. This invention also contains these.

[0070] It was based on a chlorination chloride excimer laser, the product made from lambda FIJIKUSU, and EMG-203MSG as laser. Wavelength was about 300nm. On this wavelength, absorption of the silicon film is restricted to about about 50nm of surfaces. About 40 shots irradiated per [of laser] shot, and on condition that 220 mJ/cm². Pulse width was about 35n second. The ambient atmosphere was an argon ambient atmosphere of abbreviation 10⁻³torr. At this time, it checked in another experiment that the silicon film fused on this condition.

[0071] First, this invention impresses a sink and a static magnetic field to a coil for a current locally so that it may become abbreviation and 3500 gauss - 4000 gauss about flux density to the part of the silicon film which irradiates laser. Next, excimer laser light is irradiated to this part on condition that the above-mentioned. Furthermore, a static magnetic field is maintained for about 5 microseconds during an exposure and after an exposure. From measurement of the reflected light of the silicon film, it solidifies and crystallizes in about 1 - 2 microseconds after termination of laser radiation.

[0072] In addition, the process of melting-crystallization by the laser light of a conventional method is only the exposure of laser light. That is, this invention has essence in the place which combined this.

[0073] According to observation with an atomic force microscope, the smooth nature of the surface of the obtained crystalline substance silicon film was about 3nm or less. In arrangement of ((drawing 2) b) and (c), especially smooth nature is about 1nm or less. (Drawing 2) It was better for smooth nature to make it the same magnetic pole in (a), rather than it makes the magnetic pole of the substrate upper and lower sides into reversed polarity. These things have suggested giving a result with the desirable one where line of magnetic force is more nearly parallel to a substrate. It seems that furthermore, it has suggested that a silicon atom is restrained by line of magnetic force on account of the diamagnetism of the electron orbit of a silicon atom.

[0074] Then, gate dielectric film is formed by the well-known approach, i.e., the plasma CVD of a tetraethoxy silane (TEOS)-ozone system. Furthermore by the well-known approach, the stagger mold (top gate mold) TFT was formed.

[0075] The mobility of the carrier of the TFT channel section improved about 40% compared with the former. Especially, in TFT corresponding to ((drawing 2) b) and (c), mobility improved about 70%. This has the smooth nature and parallel relation of the crystalline substance silicon film.

[0076] According to analysis of the crystalline substance silicon film by secondary high sensitivity ion mass analysis (high sensitivity SIMS), the oxygen density in the film was low figures double [about]

compared with the former. Although the oxygen in crystal silicon works as a donor in many cases and the turbulence of the control of doping from the outside is usually carried out conventionally, this invention avoids this to some extent.

[0077] (Example 2) [Drawing 3], (a), (b), and (c) are the configuration sectional views for explaining this invention. the silicon film with which the sediment of a substrate and 20 was carried out for 19 in this drawing, and 21 -- the cap film (thing used as gate dielectric film), and 22 -- a core and 23 -- the coil for electromagnets, and 24 -- a core and 25 -- the coil for electromagnets, and 26 -- laser light and 27 -- a core and 28 -- for laser light and 31, as for pole piece and 33, a core and 32 are [pole piece and 29 / coil for electromagnets and 30 / the coil for electromagnets and 34] laser light.

[0078] The amorphous silicon film was formed like the example 1. Next, in the case of the diacid-ized silicon film which turns into gate dielectric film by the plasma-CVD method of a tetra-ethoxy silane (TEOS)-ozone system, and a parenthesis, the cap film forms the diacid-ized silicon film. The equipment used was made in SAMUKO International Lab, a liquid source CVD system, and PD-240. They could be thickness and about 100nm.

[0079] About 3000 static magnetic field was impressed to this like the example 1 at coincidence at the exposure section, irradiating the laser of the same power. This situation is typically shown in ((drawing 3) a) - (c).

[0080] Of course, there is no proof of melting in this case at laser radiation with the upper diacid-ized silicon film of this level, of course (although the melting point is not clear, the temperature of the upper softening is actually lower than silicon a little.). However, since the laser absorption of light is slight, it is not heated so far. Conventionally, on condition that such a laser light, inner silicon fuses and the upper gate-dielectric-film slack film is destroyed by intense migration of the silicon atom in this case. However, in this invention, destruction is not seen at all. That is, it is thought that intense migration of a silicon atom was controlled. It was more desirable for a substrate parallel component to be in magnetic flux.

[0081] Moreover, the interface of gate dielectric film, and the this and the silicon film receives heat treatment of about 1400 degrees C. This has the effectiveness which eliminates level in gate dielectric film, such as level, such as an interface, etc. There is semantics from which these 1400 degrees C become being about 1000 degrees C or more size. namely, heat treatment of 1000 degrees C or less -- setting -- about $10^{18}/\text{cm}^2$ -- it prevents a certain oxygen atom donor-izing about three.

[0082] Moreover, in the moment of melting of the silicon film, another approach of controlling convection-current migration of a silicon atom is spraying high-pressure inert gas on this fusion zone between melting. as inert gas -- high grade argon gas -- it is desirable to use the high grade argon gas containing to remain as it is or high grade hydrogen gas. About two or more atmospheric pressures of a pressure are desirable (a background ambient atmosphere is one or less atmospheric pressure).

[0083] Moreover, in the moment of melting of the silicon film, in order to control convection-current migration of a silicon atom, it is spraying high-pressure inert gas on this fusion zone between melting. as inert gas -- high grade argon gas -- it is desirable to use the high grade argon gas containing to remain as it is or high grade hydrogen gas. About two or more atmospheric pressures of a pressure are desirable (a background ambient atmosphere is one atmospheric pressure and the following).

[0084] (Example 3) [Drawing 4] for explaining how controlling migration by the convection current of a silicon atom in the case of melting-solidification crystallization of the silicon film is a configuration sectional view. For a substrate and 36, as for a high-pressure gas installation pipe and 38, in this drawing, the silicon film and 37 are [35 / a high-pressure gas and 39] laser light.

[0085] Creation of the amorphous silicon film was created like (the example 1). The ambient atmosphere of this amorphous silicon film is permuted so that it may become the argon of one atmospheric pressure. Next, they are an exposure and melting about laser light like (an example 1). - It is made to crystallize. Laser was based on the NEC make, an argon laser, and GLG-3202. High-pressure argon gas (about 4 atmospheric pressures) is turned to the exposure section, and making it blow off from pore in time from just before a leather exposure to after [laser radiation termination] several m seconds is continued.

[0086] Surface concave convexity of a result and the crystallization silicon film was able to be set to about 5nm or less.

[0087] Next, it is melting. - After forming gate dielectric film on the crystallized crystalline substance silicon, in order to decrease the defect leading to impure energy levels, such as an interface of a silicon-insulator layer, and a carrier trap of an insulator layer, heating crystalline substance silicon in an instant at about 1000 degrees C or more and about 1400 degrees C or less has the decisive effectiveness of reservation of the dependability of mobility, and the repeatability of the threshold of a TFT property in improvement in mobility, the repeatability of mobility, and a pan. According to evaluation of an outline, abbreviation, 1000 degrees C or more, and about 1400 degrees C or less have [this heating] desirable crystalline substance silicon. When it is made 1400 degrees C or more, crystalline substance silicon remelts and cautions are considerably needed for control of a process (for example, irregularity etc.).

[0088] Probably, backing of the effectiveness of this is considered to be as follows. According to analysis, above 1000 degrees C, it dissolves, and the oxygen about abbreviation 10^{16} - $10^{17}/\text{cm}^3$ and included in crystalline substance silicon does not become a donor, but is defanged. However, in heat treatment of the temperature not more than this, although a property is improved rather than it does not do, an oxygen atom deposits as a minute defect, and it comes to carry out donor-behavior. This controls the mobility of a carrier and fluctuates a threshold.

[0089] This heating has advantageous local heating and this point laser and its high-frequency heating are desirable. As laser, the excimer laser from the point of absorption of the silicon film and the argon laser were desirable, and RF heat had a little more than about 100kHz desirable microwave.

[0090] Melting - After forming gate dielectric film on the crystallized crystalline substance silicon, in order to decrease the defect leading to impure energy levels, such as an interface of a silicon-insulator layer, and a carrier trap of an insulator layer, heating crystalline substance silicon in an instant at about 1000 degrees C or more and about 1400 degrees C or less has the decisive effectiveness of reservation of the dependability of mobility, and the repeatability of the threshold of a TFT property in improvement in mobility, the repeatability of mobility, and a pan. According to evaluation of an outline, abbreviation, 1000 degrees C or more, and about 1400 degrees C or less have [this heating] desirable crystalline substance silicon. When it is made 1400 degrees C or more, crystalline substance silicon remelts and cautions are considerably needed for control of a process (for example, irregularity etc.).

[0091] Probably, backing of the effectiveness of this is considered to be as follows. According to analysis, above 1000 degrees C, it dissolves, and the oxygen about abbreviation 10^{16} - $10^{17}/\text{cm}^3$ and included in crystalline substance silicon does not become a donor, but is defanged. However, in heat treatment of the temperature not more than this, although a property is improved rather than it does not do, an oxygen atom deposits as a minute defect, and it comes to carry out donor-behavior. This controls the mobility of a carrier and fluctuates a threshold.

[0092] This heating has advantageous local heating and this point laser and its high-frequency heating are desirable. As laser, the excimer laser from the point of absorption of the silicon film and the argon laser were desirable, and RF heat had a little more than about 100kHz desirable microwave.

[0093] (Example 4) The configuration sectional view for explaining this about heating crystalline substance silicon momentarily aiming at reduction of the inconvenient electron energy level inside after gate-dielectric-film formation, this interface, and gate dielectric film in contact with this invention, i.e., crystalline substance silicon, and this at about 1000 degrees C or more and about 1400 degrees C or less is [drawing 5]. For 40, as for the crystalline substance silicon film and 42, in this drawing, a substrate and 41 are [the cap film for gate dielectric film and 43] laser light.

[0094] First, crystalline substance silicon with a smooth front face is obtained like examples 1-3. If it is with the need, gate dielectric film will be deposited and processed into this, and a structure like (drawing 5) will be obtained. This crystalline substance silicon is heated at about 1000 degrees C or more and about 1400 degrees C or less.

[0095] It limited to heat treatment of about 1400 degrees C or less for avoiding un-arranging according to remelting of crystalline substance silicon. Silicon is mostly fused at a little more than 1400 degrees C. Experimentally, the actual condition determined energy impression conditions (laser and high-frequency

heating) for the temperature of the boundary line of melting-insoluble ** as about 1400 degrees C.

About 1000 degrees C was guessed from count.

[0096] Are about 1000 degrees C and the above heat treatment stabilized truly? TFT which has it come to form the source of electrode formation and n+, or p+, and a drain field by the well-known approach according to examination -- setting -- the so-called BT (bias temperature stress) -- according to the reliability evaluation by law, in heat treatment of 1000 degrees C or less, a comparison, more than twice [about], and rate of change were stopped. Although it does not understand well about why, the existing impurity oxygen atom dissolves above 1000 degrees C, and it is being surmised that 10^{18} moreover does not form an inconvenient electronic energy level. It seems that the donor level originating in oxygen is generated in heat treatment of about 900 degrees C by reference.

[0097] Although it is thought that the crystalline substance silicon film by (examples 1-3) is flat, and originates in this, the crack of the cap film for gate dielectric film by this about 1000-degree C heat treatment and a crack do not happen at all. About the crystalline substance silicon film by the conventional method by (examples 1-3), a crack is often observed after this about 1000-degree C heat treatment by the cap film for gate dielectric film.

[0098] The above excimer lasers and argon lasers are used for momentary about 1000 degrees C or more and about 1400 degrees C or less in heating.

[0099] Moreover, heating was made by about 1000 degrees C or more and about 1400 degrees C or less by about 110kHz intermittent high-frequency heating. Corresponding drawing was not carried about this. Equipment used end-fire array epitaxy equipment, the Kokusai Electric make, and DC5200. The result was desirable like the above-mentioned.

[0100] Moreover, homogeneity doping of polycrystalline silicon is rather difficult so that it may be predicted. In order to improve this situation, it proposes performing exposure and threshold control of a thin film transistor for a thermal neutron in the channel section of crystalline substance silicon. This dopes to homogeneity the phosphorus atom which serves as a donor by nuclear transformation. Penetrating power of a thermal neutron is strong, without [therefore] interacting with a charged particle as it consents. That is, it is unrelated to the grain boundary and silicon thickness, and the thermal neutron of a part of transparency is caught by homogeneity in a crystal at a silicon atomic nucleus.

[0101] The isotope of the mass number 30 of silicon and ^{30}Si absorb a thermal neutron, and, specifically, use carrying out beta disintegration to a phosphorus atom and ^{31}P . This half-life is 2.62 hours, ^{30}Si is contained in usual silicon 3.09%, and ^{31}P are the usual phosphorus atom. This needs to note being what changes into the phosphorus of a grid location the silicon atom which is in a crystal lattice from the first. That is, like the usual doping, it begins, and many impurity atoms go into the location between crystal lattices (INTASUTISSHARU location), and greatly differ from fitting in a grid location by heat treatment.

[0102] The exposure of a thermal neutron is made with a reactor, the cyclotron used also for medical application, or neutron radiation equipment. In this example, it was made with the medical-application cyclotron. Irradiation time was needed for about 5 hours, and was about about 3×10^{13} as result phosphorus concentration. Beforehand, this is another examination and is evaluated from the temperature dependence of resistivity, and the temperature dependence of mobility. It was understood through this examination that uniform doping is made.

[0103] In addition, although the thermal neutron was irradiated by the substrate, of course, when a substrate was set to the Corning, Inc. make and #1737, there was no big problem about residual radioactivity.

[0104] Moreover, heat-treating is desirable after the exposure of this neutron because of recovery of the polycrystalline silicon film and the cap film (when becoming gate dielectric film) of radiation damage. In order that the oxygen which exists especially may control donor-behavior, heat treatment in a vacuum or an inert atmosphere is desirable above 600 degrees C.

[0105] (Example 5) [Drawing 6] for explaining the neutron irradiation doping method about this invention below is a configuration sectional view. For the crystalline substance silicon film and 46, as for a neutron beam and 48, in this drawing, the cap film and 47 are [44 / a substrate and 45 / a neutron

generator and 49] the apertures for neutron beam transparency. In addition, in this examination, the medical-application cyclotron was used as a neutron generator 48. In this drawing, the neutron generator 48 is shown typically.

[0106] Irradiation time was needed for about 5 hours, and then was heat-treated by the lamp annealing method at about 800 degrees C for about 2 minutes. The ambient atmosphere was performed in the vacuum ambient atmosphere. As result phosphorus concentration, it was about about 3×10^{13} .

Beforehand, this is another examination and is evaluated from the temperature dependence of resistivity, and the temperature dependence of mobility. It was understood through this examination that doping more uniform than before is made from measurement of resistivity etc. Moreover, the reliability evaluation of a TFT property which carried out the result was also excellent (based on the BT stress method).

[0107] Heat treatment of about 600 degrees C or more is desirable because of recovery of the polycrystalline silicon film assumed at the time of neutron irradiation, and the cap film (when becoming the gate film) of radiation damage. In the case of about 600 degrees C - 650 degrees C, heat treatment of long duration is required. In heat treatment of 600 degrees C or less, the rate of activation deteriorates sharply and, moreover, the repeatability of this gets remarkably bad. This was understood from resistance measurement. This is greatly related to the variation in a TFT property.

[0108] When measured with the detector about residual radioactivity, it was far the following of a safety standard. In this examination, the cap film used the diacid-ized silicon film, using a high grade quartz substrate as a substrate. Residual radioactivity's being satisfactory to an oxygen atom is predicted.

[0109] Furthermore, this invention is explained more concretely than the following. Henceforth, although it goes ahead with the talk about TFT of a top gate mold, the fine difference about TFT of a bottom gate mold does not change the essence of a certain thing. Therefore, only the top gate mold TFT is explained in full detail. Furthermore, as control ***** and a carrier, although there are two sorts, an electron or an electron hole, since it essentially does not change, it argues below about TFT of an electron, i.e., an N channel, as a carrier here.

[0110] The homogeneity of this initial property of TFT considered one factor as follows. That is, there are many heating processes in the creation process of TFT. Diffusion of a minute amount (amount which cannot almost be analyzed) takes place to the semi-conductor film which constitutes TFT, i.e., the crystalline substance silicon film, and the situation of the energy level of the carrier near the gate-dielectric-film-crystalline substance silicon film interface is made to vary from a substrate side on it at this time.

[0111] Moreover, especially one factor considered that change of said threshold also emitted for diffusion of a minute amount (amount which cannot almost be analyzed) to take place [the dependability of TFT, and] from the substrate side on the crystalline substance silicon film with an electrical potential difference and temperature.

[0112] Since the cross sections of the polycrystalline silicon layer which constitutes TFT differ as a result, this invention examines a conventional method again first.

[0113] The conventional example of the manufacture technique of TFT is shown in [drawing 7]. For the crystalline substance silicon film obtained by the amorphous silicon with which dehydrogenation treatment of a substrate and 51 was carried out for 50, and 52 carrying out melting and crystallization of laser light and 53, and 54, as for the gate metal-electrode film and 56, in (drawing 7), gate dielectric film and 55 are [the source metal-electrode film, the drain metal-electrode film, and 57] passivation film.

[0114] Briefly, the conventional process is shown. First, the amorphous silicon film is formed with well-known plasma chemistry vacuum deposition (plasma-CVD method). It is about 1 hour after it and at about 350 degrees C. It heat-treats in a vacuum ambient atmosphere, and dehydrogenation treatment is performed (this drawing (a)). Next, the excimer laser of a xenon is irradiated and melting and the crystalline substance silicon film 53 which was solidified and it recrystallized are obtained for said amorphous silicon 51 by which dehydrogenation treatment was carried out (this drawing (b)). Furthermore, the deep ion implantation of Lynn is performed into the part of the crystalline substance

silicon which performs the thin ion implantation of Lynn into the part of the crystalline substance silicon assumed directly under a gate metal electrode (channel dope), and is assumed the source and directly under a drain metal electrode (n+ dope). Furthermore, it is heat treatment for activation of an impregnation kind The inside of a nitrogen air current, and about 600 degrees C It carries out for about 30 minutes. Next, the gate dielectric film 54 which consists of silica dioxide etc. is obtained. Technique is based on the reduced pressure chemical vapor deposition (LPCVD) from the mixed gas of a steam, a plasma-CVD method, etc. from the mixed gas of a tetra-ethoxy silane and ozone like common knowledge at a silane, oxygen, or this. This thickness is 0.1 micrometers - 0.01 micrometers (this drawing (c)). Next, it forms that it is about the gate metal-electrode film 55 by aluminum etc. also with electron beam vacuum deposition, the well-known photolithography method, and the well-known chemistry etching method (this drawing (d)). Perforation of the part corresponding to the source polar zone and drain polar zone of said gate dielectric film 54 is carried out by the well-known chemistry etching method, and the source metal-electrode film and the drain metal-electrode film 7 are formed as it is to a part for this pore also with electron beam vacuum deposition, the well-known photolithography method, and the well-known chemistry etching method (this drawing (e)). Next, a silicon nitride film is formed in the whole as passivation film (this drawing (f)) by the plasma-CVD method.

[0115] As a substrate, heat-resistant borosilicate glass and a fused-quartz plate are used. The fused-quartz plate is very expensive. Actually, as for more than the diameter substrate of 8 inch, it is hopeless to present production. Therefore, depending on the case, heat-resistant borosilicate glass, for example, the Corning, Inc. make, and #1737 glass are most often used. However, it originates in the general process of this and heat-resistant borosilicate glass is contained in about 0.1% of alkali element. The alkali element in this heat-resistant borosilicate glass and other impurities are considered to be spread in the crystalline substance silicon film at the time of TFT manufacture. It is thought that this phenomenon is promoted by heating. This is considered to be the factor which makes said threshold in early stages of TFT manufacture vary. Actually, this dispersion was about 0.5v or more conventionally. A target is less than [0.1V].

[0116] moreover, acceleration evaluation of dependability, i.e., BTS, -- law -- big fluctuation of the threshold in the bottom is also considered to originate in this. [0117] (Example 6) [Drawing 8] is a configuration sectional view for explaining the technique concerning this invention. The oxygen ionic current by which the substrate was accelerated for 58 and the amorphous silicon film and 60 were accelerated for 59 in this drawing, The amorphous silicon film of the minimum [61] of an oxygen atom consistency, the amorphous silicon film whose 62 is an oxygen atom consistency and which becomes size, For the crystalline substance silicon film with which 63 carried out melting crystallization of laser light and 64, the film with which 65 is identified silicon oxide by electron diffraction evaluation, and 66, as for the gate metal-electrode film and 68, gate dielectric film and 67 are [the source metal-electrode film, the drain metal-electrode film, and 69] passivation film.

[0118] This invention is explained using (drawing 8).

[0119] First, the heat-resistant borosilicate glass of 1.1mm thickness and #1737 came to hand from Corning Japan. Besides, made in SAMUKO International Lab, plasma-CVD equipment, and PD-2400 were used, and the amorphous silicon film of about 250nm thickness was formed by the plasma-CVD method. wet [next according to the well-known photolithography method and fluoric acid-nitric-acid-acetic-acid mixture] -- it is dirty and patterning is carried out to the shape of an island. Next, they are the inside of a vacuum, and about 400 degrees C. It heat-treated for about 1 hour, and hydrogen was desorbed from said amorphous silicon film (this drawing (a)).

[0120] Next, the product made from Sumitomo ITONNOBA and NV-GSD-A -160 were used, with the energy of about 120 KeV(s), it was referred to as a dose and abbreviation $1.5 \times 10^{18}/\text{cm}^2$, and oxygen ion was poured in for about 20 minutes. Substrate temperature is about 400 degrees C. It carried out. According to another experiment, the peak of the oxygen ion density in silicon was in a depth of about 150nm, and the oxygen consistency of this peak was abbreviation $4 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ (this drawing (b)). Then, about 600 degrees C was heat-treated for about 5 hours.

[0121] Next, laser light was irradiated. It was based on a chlorination chloride excimer laser, the product

made from lambda FIJIKUSU, and EMG-203MSG as laser. Wavelength was about 300nm. On this wavelength, absorption of the silicon film is restricted to about 50nm of surfaces. About 40 shots irradiated per [of laser] shot, and on condition that 220 mJ/cm². Pulse width was about 35n second. The ambient atmosphere was an argon ambient atmosphere of abbreviation 10⁻³torr. At this time, the minimum amorphous silicon film of an oxygen atom consistency checked melting and solidifying in another experiment by this condition in an instant (this drawing (c)). According to the cross-section observation by the scanning electron microscope of the silicon film by which the lasing was carried out, the surface smoothness of the front face of the obtained crystalline substance silicon film which carried out melting and solidification was improving an about single figure as compared with the former. This is one advantage concerning this invention. Moreover, existence of the silica dioxide phase of the crystalline substance silicon film and its lower part was checked by electron diffraction.

[0122] Next, the deep ion implantation of Lynn is performed into the part of the crystalline substance silicon which performs the thin ion implantation of Lynn into the part of the crystalline substance silicon assumed directly under a gate metal electrode (channel dope), and is assumed the source and directly under a drain metal electrode as usual (n+ dope). Furthermore, it is heat treatment for activation of an impregnation kind The inside of a nitrogen air current, and about 600 degrees C It carries out for about 30 minutes. Furthermore, at the LPCVD furnace (the Tokyo Electron make, form IW-6) using silane-oxygen system gas, gate dielectric film of about 80nm of thickness was formed, and micro processing was carried out so that this gate dielectric film might remain only near the island of said crystalline substance silicon film by the well-known approach (this drawing (d)).

[0123] Next, the gate metal-electrode film is formed. First, about 800nm of aluminum is vapor-deposited using EB vacuum evaporation machine (the product made from Japanese Vacuum, EVC 500A). By the well-known photolithography method and phosphoric acid-nitric-acid-acetic-acid system mixture, micro processing of this was carried out and it was obtained (this drawing (e)).

[0124] Next, the well-known photolithography method and the well-known fluoric acid system buffer solution were used, and the hole was opened in the source electrode part and the drain electrode part among gate dielectric film. Next, as mentioned above, it formed so that it might become about 1.2-micrometer thickness about the aluminum film for it to be also with electron beam vacuum deposition, and still as mentioned above, micro processing was carried out and the source metal-electrode film and the drain metal-electrode film were formed (this drawing (f)).

[0125] Furthermore, a silicon nitride film is formed in the whole as passivation film by the plasma-CVD method next (this drawing (g)).

[0126] Moreover, as laser to be used, even if it used the argon laser instead of the excimer laser, the same result was obtained. Laser was based on the NEC make, an argon laser, and GLG-3202.

[0127] Dispersion in said threshold of done TFT was what is less than [0.1V] and supports an author's assumption mostly. Moreover, according to evaluation of the above BTS methods, the range of fluctuation of said threshold was less than [0.1V].

[0128]

[Effect of the Invention] In case this invention is carried out, it contributes to the entropy of a property, or the improvement in dependability, and TFT is worthy of the application to a liquid crystal display, an I/O device, etc., and a so-called size is worthy with a drastic improvement of the property of the crystalline substance silicon film, this and gate dielectric film which constitute TFT, or an interface.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

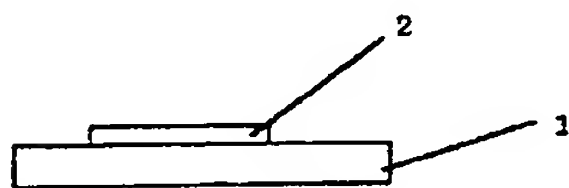
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. **** shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

[Drawing 1]
(a)

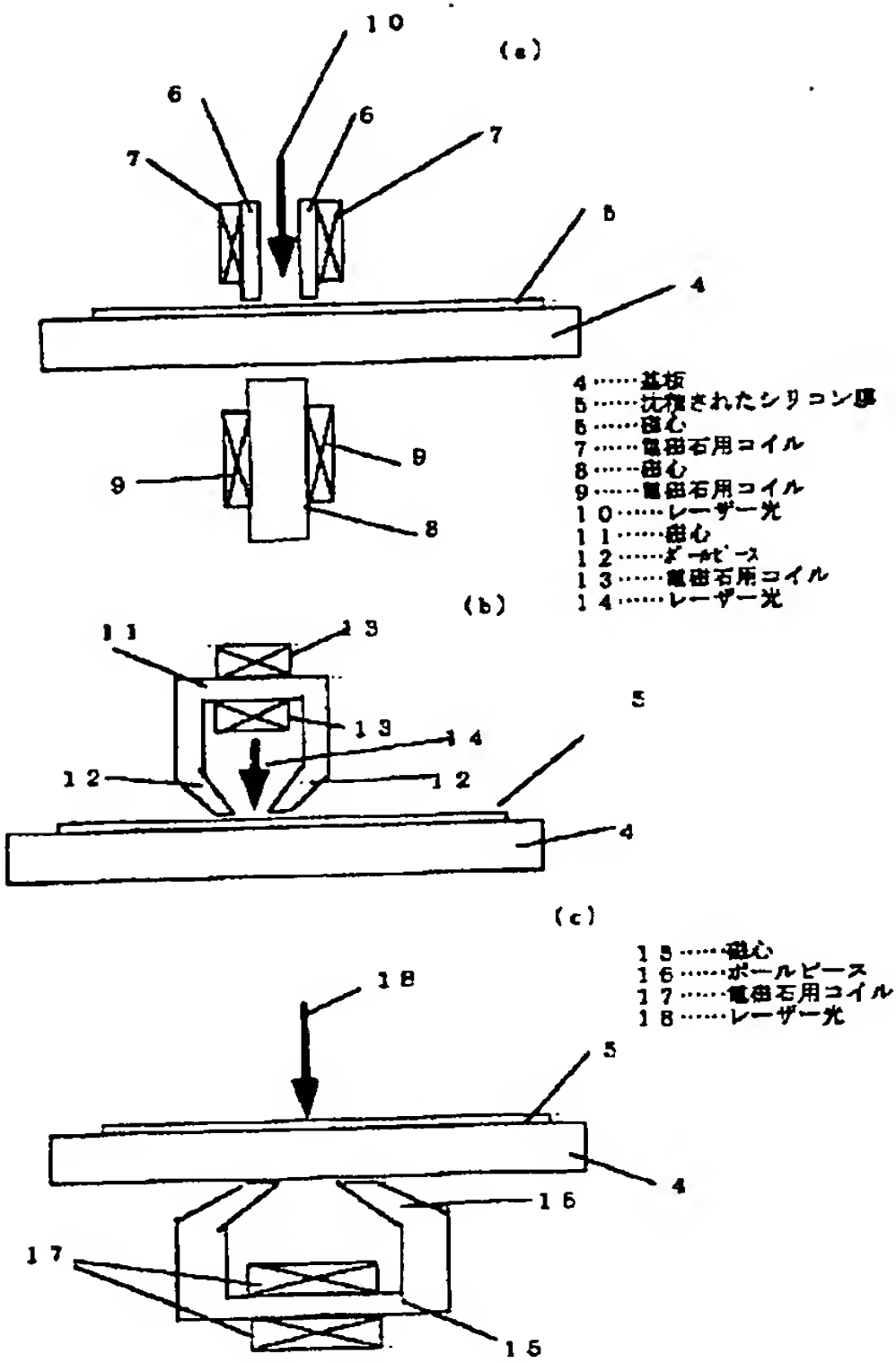


(b)

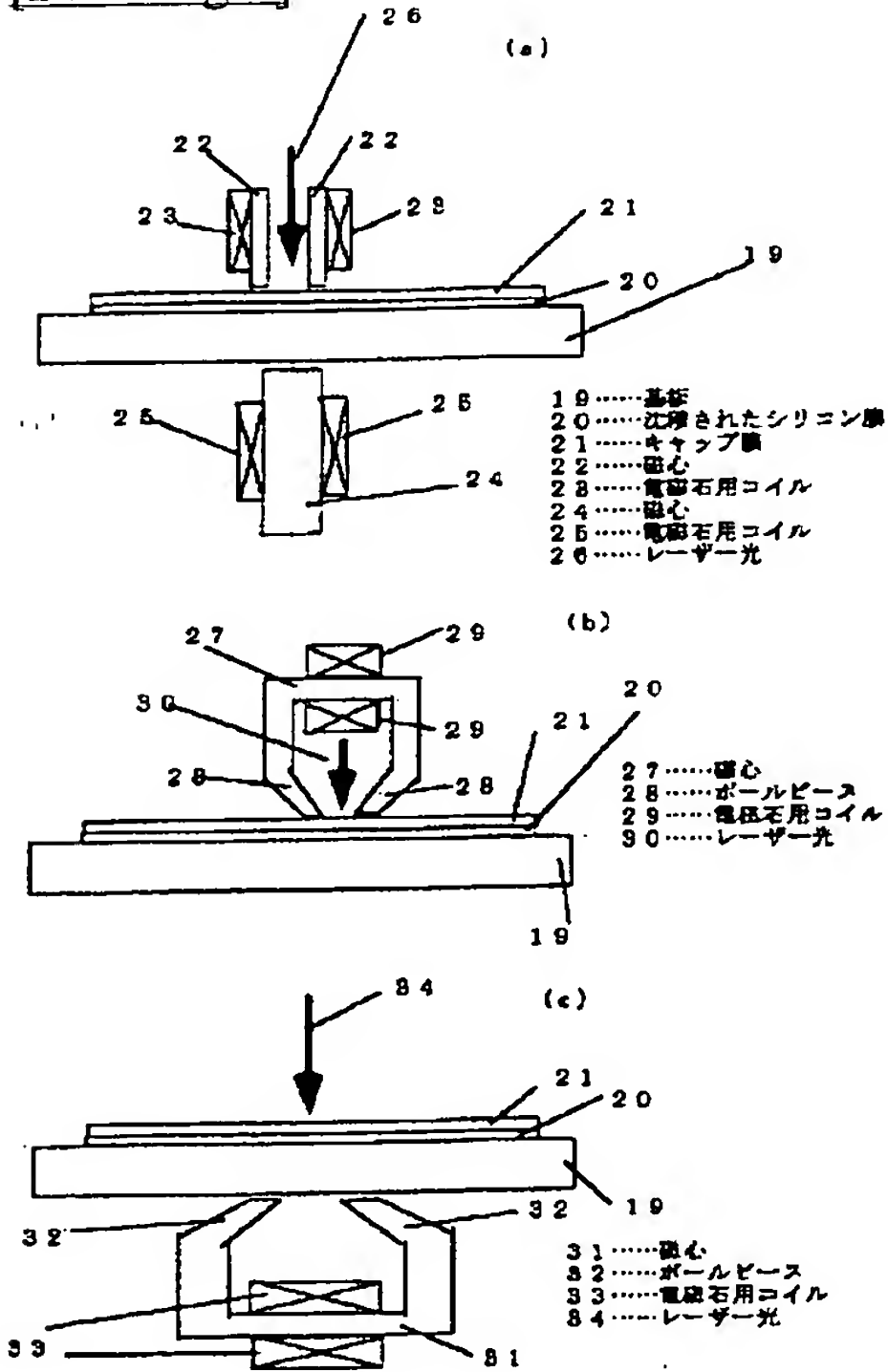


1基板
2沈積されたシリコン膜
3レーザーで熔融・再結晶化した結晶質シリコン膜

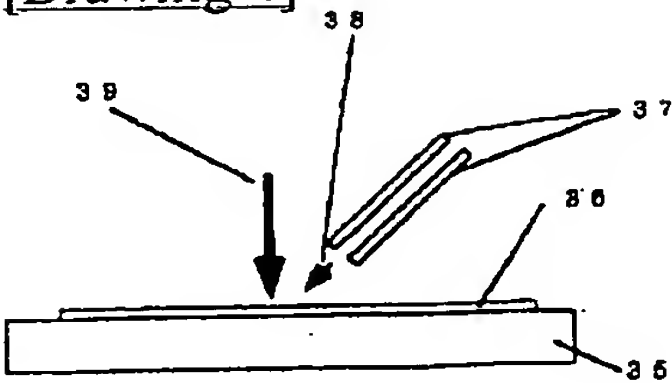
[Drawing 2]



[Drawing 3]

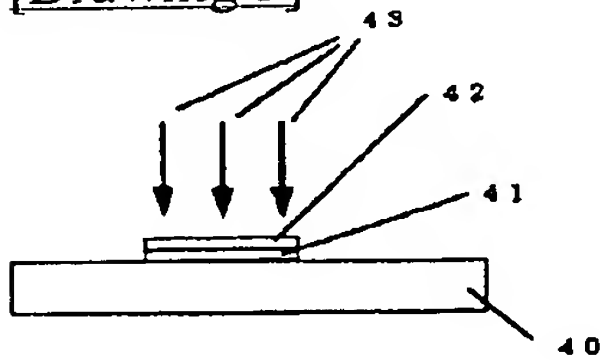


[Drawing 4]



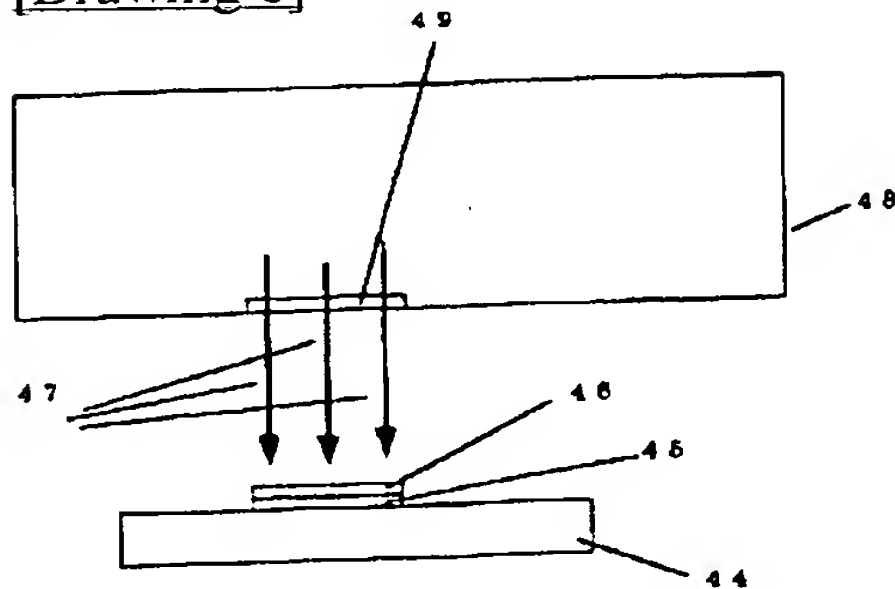
- 35.....基板
- 36.....シリコン膜
- 37.....高圧気体導入パイプ
- 38.....高圧気体
- 39.....レーザー光

[Drawing 5]



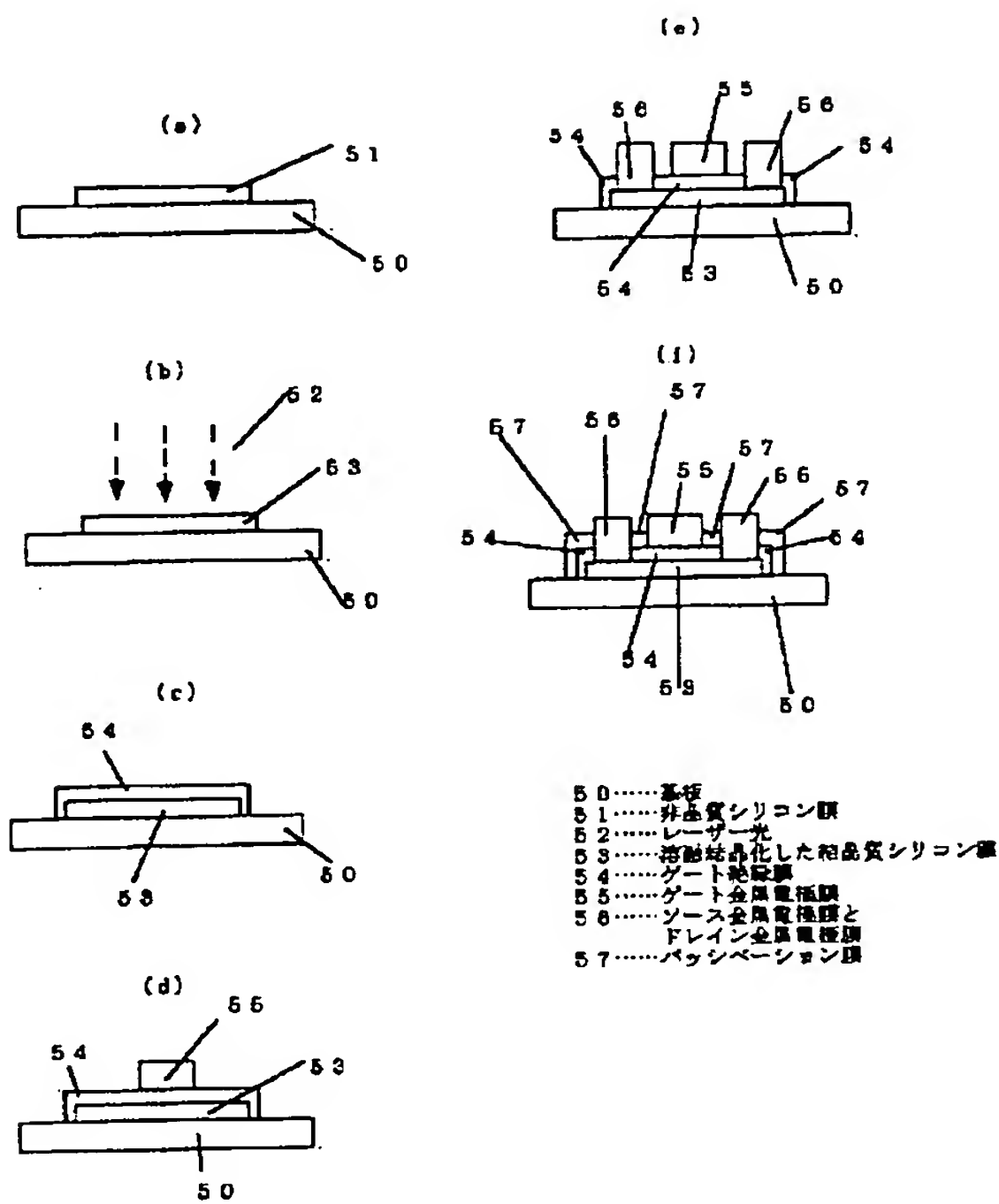
- 40.....基板
- 41.....結晶質シリコン膜
- 42.....ゲート絶縁膜用キャップ膜
- 43.....レーザー光

[Drawing 6]

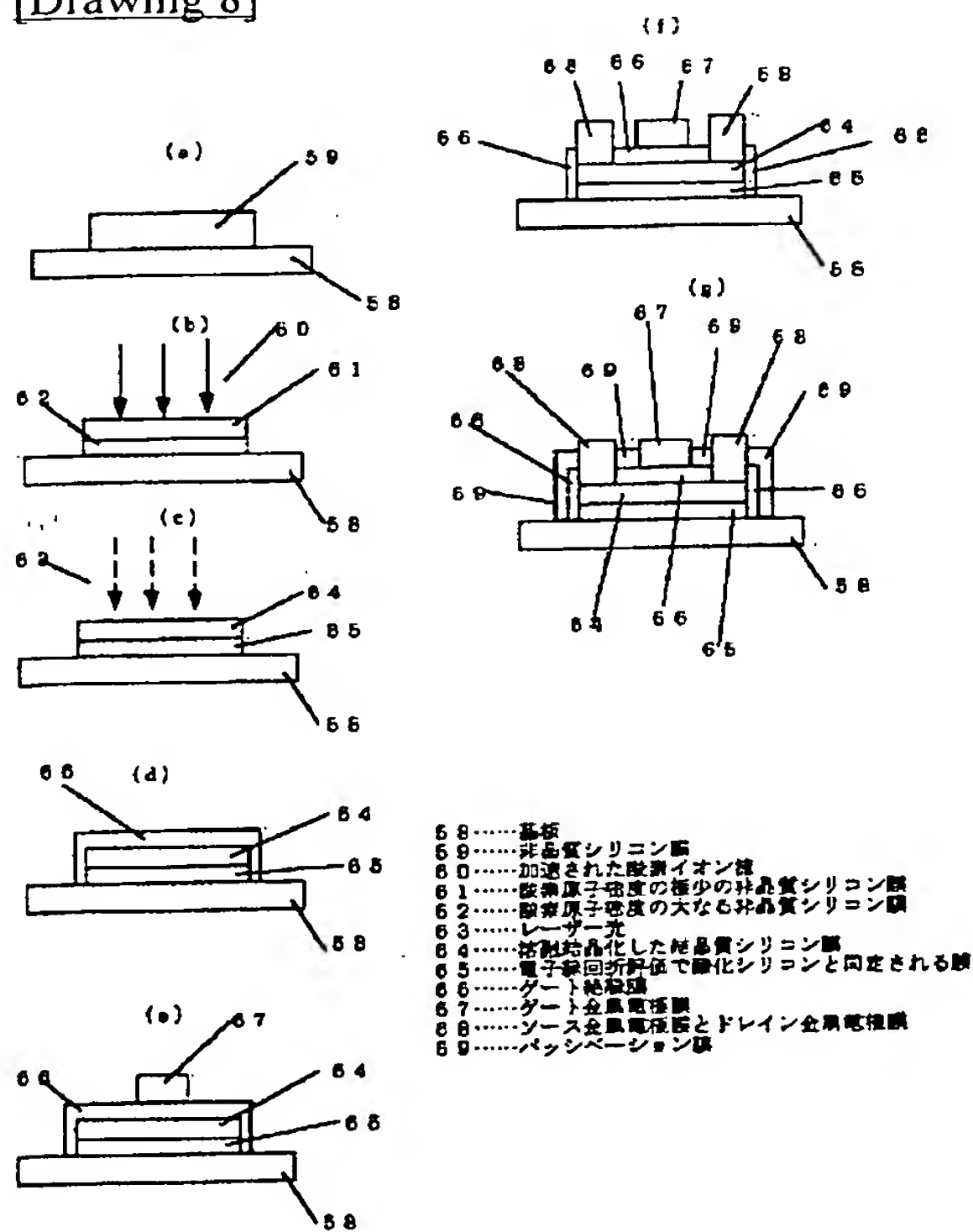


- 44.....基板
- 45.....結晶質シリコン膜
- 46.....キャップ膜
- 47.....中性子線
- 48.....中性子発生装置
- 49.....中性子線透過用窓

[Drawing 7]



[Drawing 8]



[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

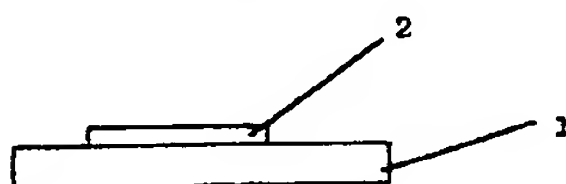
2. **** shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

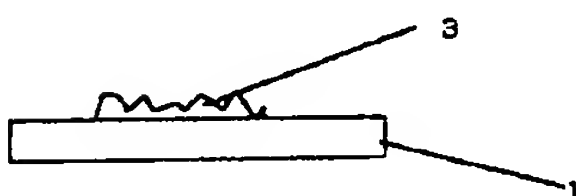
DRAWINGS

[Drawing 1]

(a)

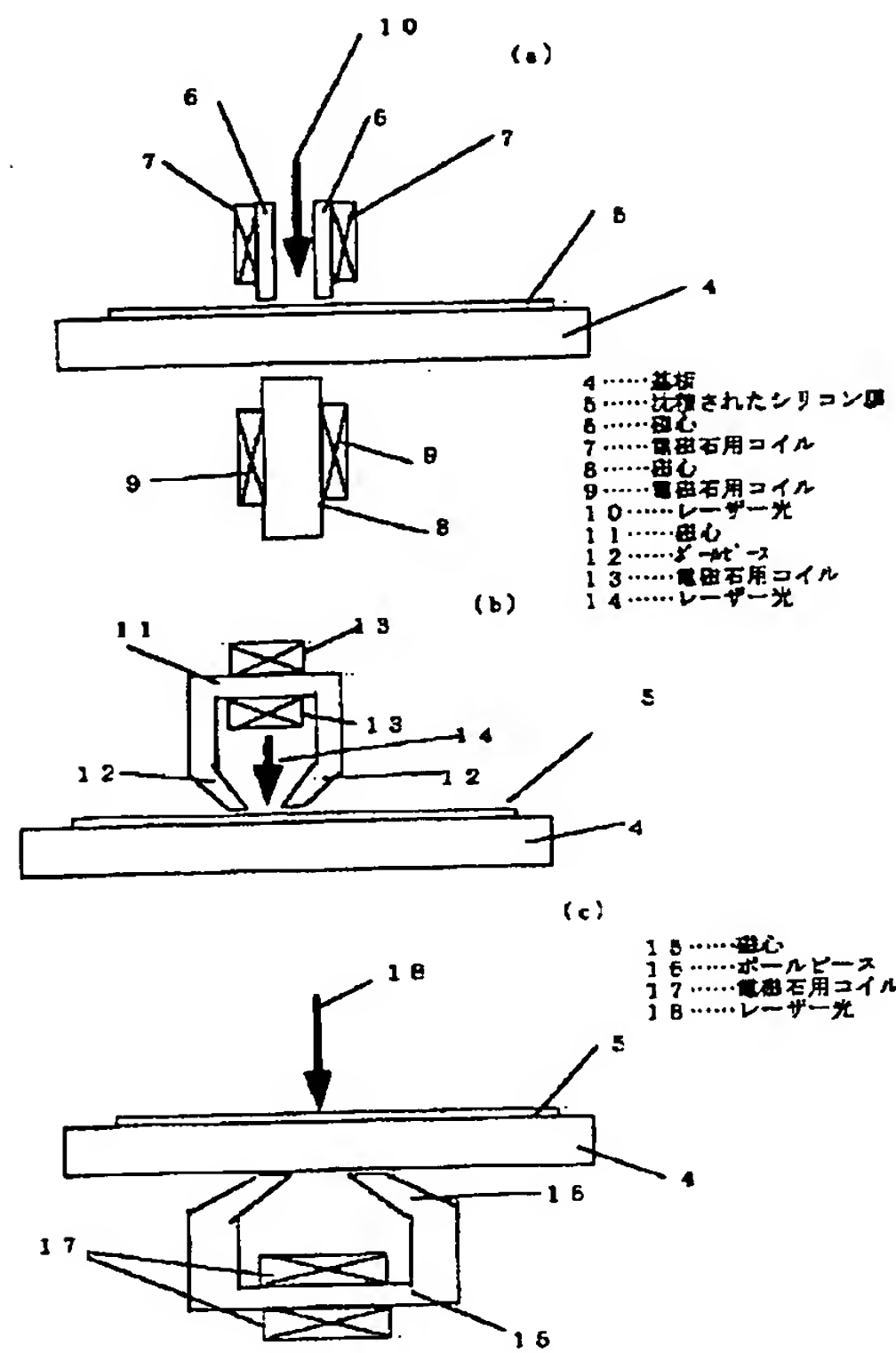


(b)

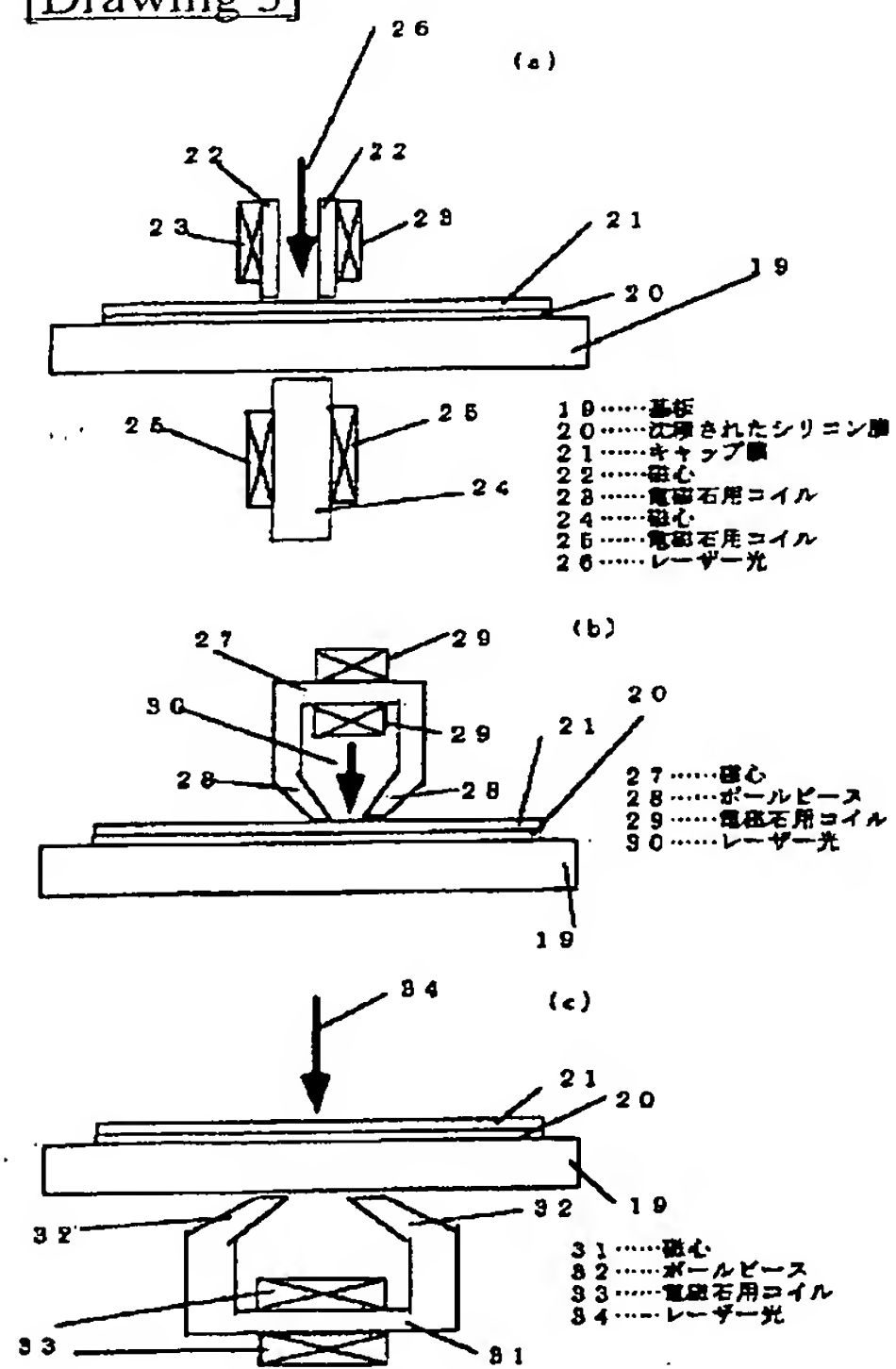


1.....基板
2.....沈着されたシリコン膜
3.....レーザーで溶解・再結晶化した結晶質シリコン膜

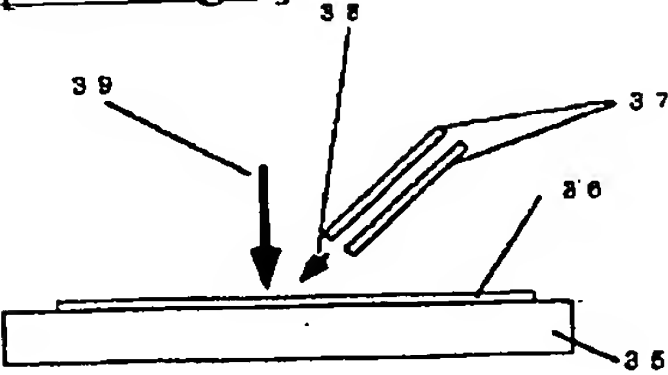
[Drawing 2]



[Drawing 3]

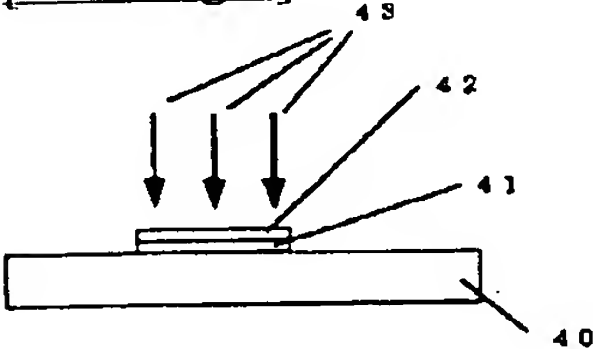


[Drawing 4]



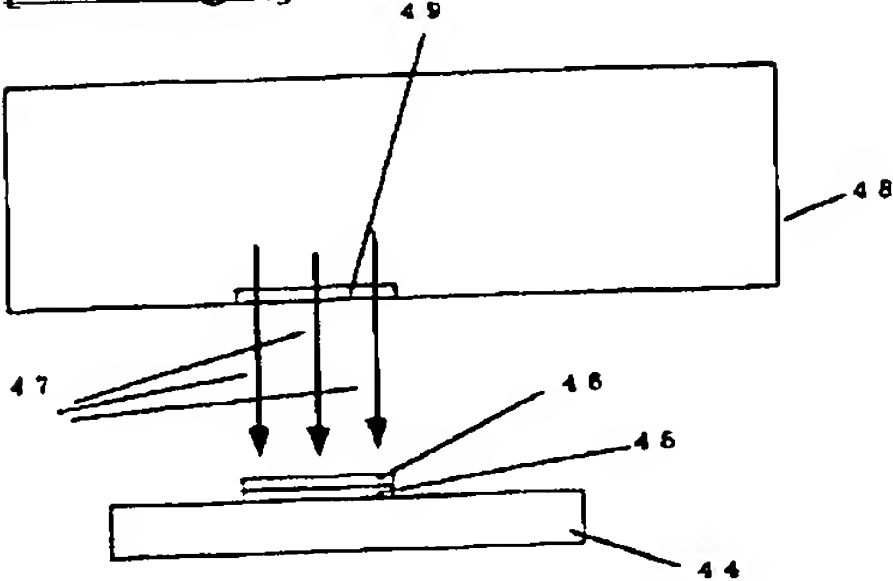
- 35.....基板
- 36.....シリコン膜
- 37.....高圧気体導入パイプ
- 38.....高圧気体
- 39.....レーザー光

[Drawing 5]



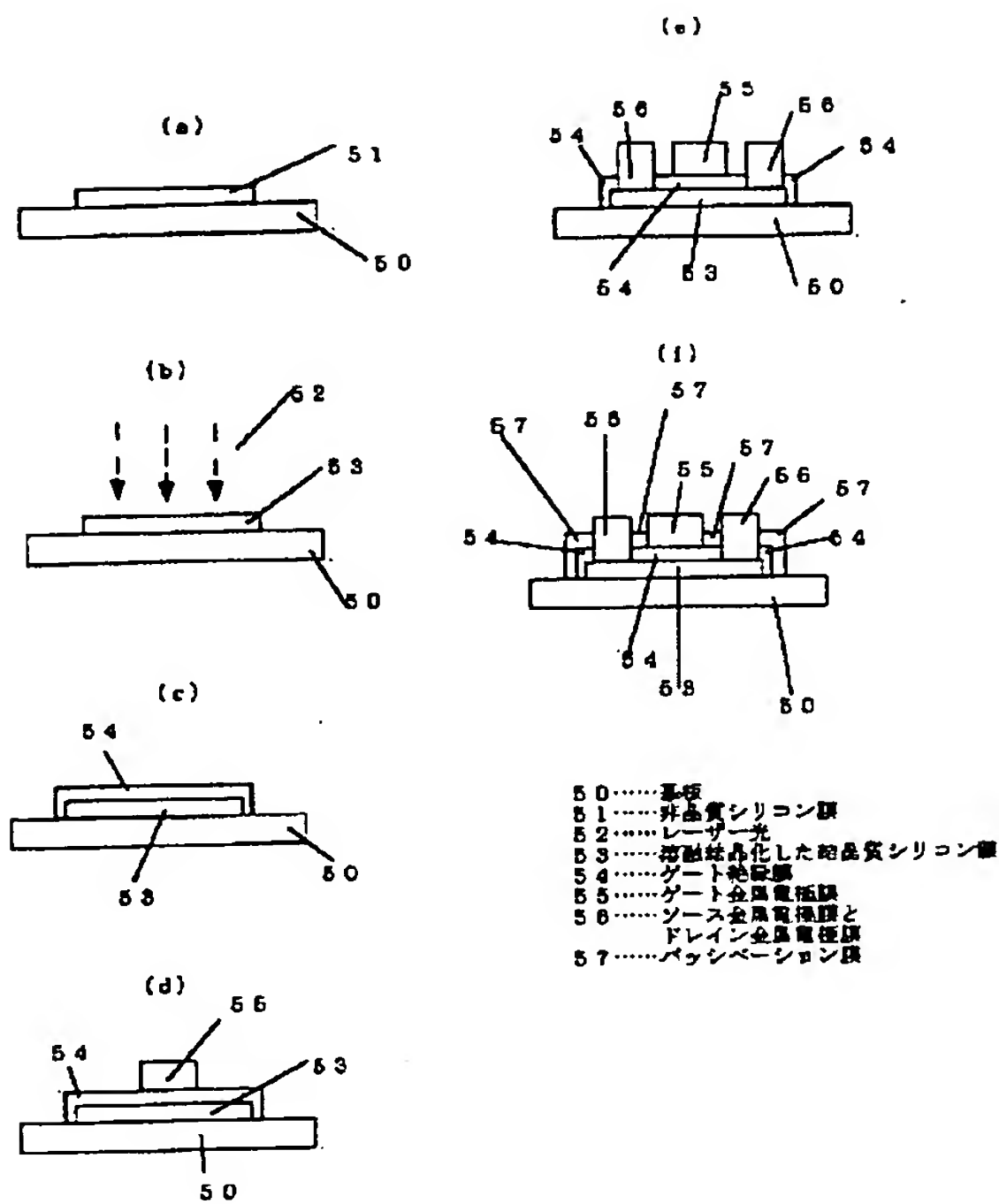
- 40.....基板
- 41.....結晶質シリコン膜
- 42.....ゲート絶縁膜用キャップ膜
- 43.....レーザー光

[Drawing 6]

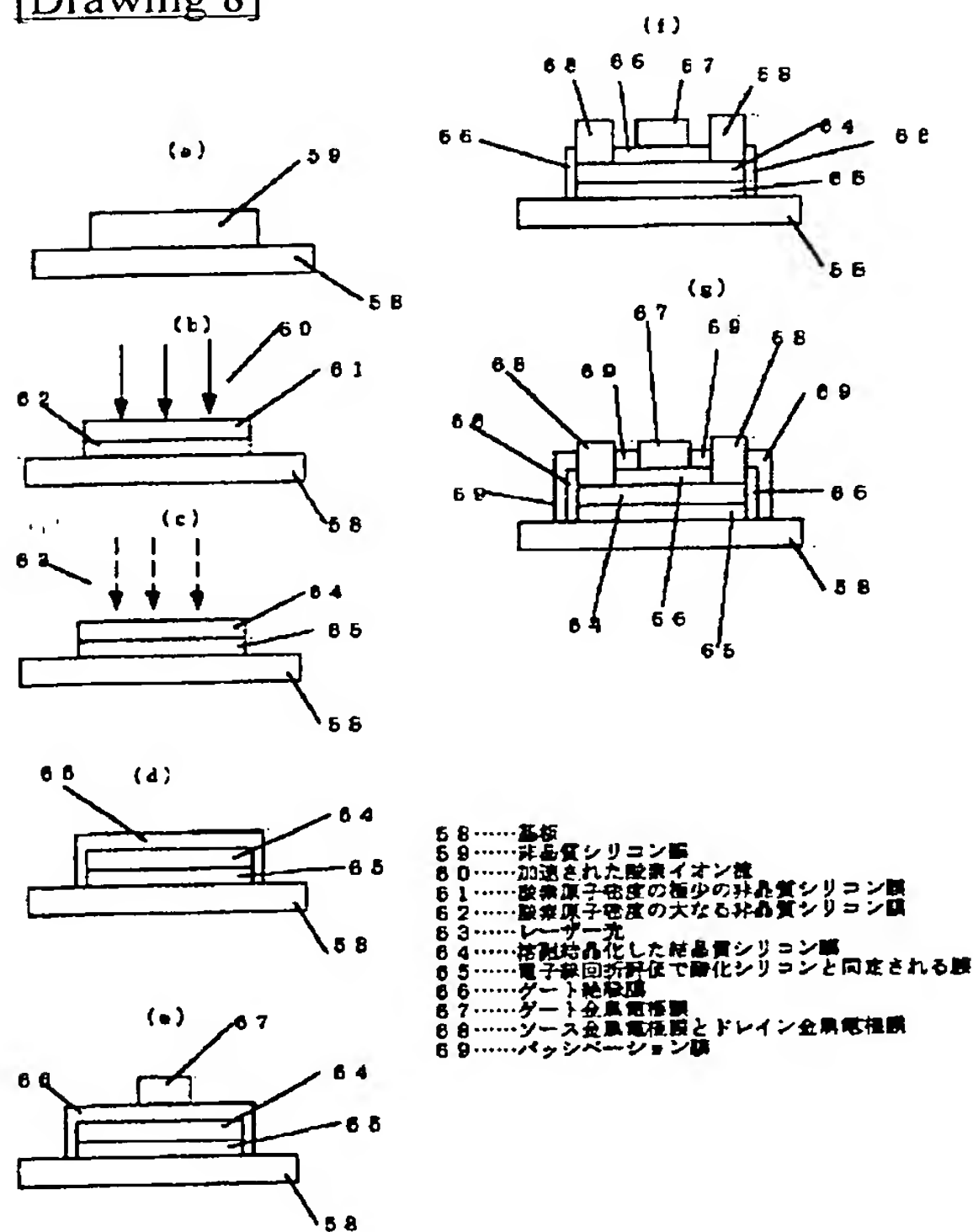


- 44.....基板
- 45.....結晶質シリコン膜
- 46.....キャップ膜
- 47.....中性子源
- 48.....中性子発生装置
- 49.....中性子検出器

[Drawing 7]



[Drawing 8]



[Translation done.]